Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

LE MERCURE

Canada

mai 1985

86-05888/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE MERCURE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
MAI 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Mercury
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 48-10/25-1985F
ISBN 0-662-93247-1
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VIII
	Liste des tableaux	IX
	Abréviations et symboles	X
	Définitions	XII
	Sigles	XIII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques**	3
3	**Production, transport et commerce**	9
3.1	Qualités et teneurs	9
3.2	Producteurs situés au Canada	9
3.3	Fournisseurs	9
3.4	Centres d'utilisation	9
3.5	Volume de production	9
3.5.1	Préparation	9
3.6	Principales utilisations au Canada	10
4	**Manutention du produit et compatibilité avec certains matériaux**	11
4.1	Contenants et autres récipients d'expédition	11
4.1.1	Emballage	11
4.1.2	Transport en vrac	11
4.2	Manipulation, entreposage	11
4.3	Compatibilité entre le mercure et certains matériaux	12
5	**Fuite et migration du produit**	15
5.1	Aperçu général	15
5.2	Fuite du produit	15
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	15
5.3.1	Introduction	15
5.4	Comportement dans l'eau	16
5.4.1	Introduction	16
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion	16
5.4.2.1	Vitesse limite de chute en fonction du diamètre de la particule	16
5.4.2.2	Temps de sédimentation en fonction de la limite de chute	16
5.4.2.3	Distance parcourue en aval du lieu de déversement en fonction de la vitesse de sédimentation	16
5.4.3	Exemples de calculs	17
5.5	Comportement dans le sol de surface et le sous-sol	19
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	19
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	19
5.5.4	Types de sol	22
5.5.5	Nomogrammes de la migration	22
5.5.6	Exemple de calcul	22
6	**Protection de l'environnement**	27
6.1	Limites maximales admissibles	27
6.1.1	Qualité de l'eau	27
6.1.2	Qualité de l'air	27
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	27
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux États-Unis	27
6.2.2	Mesure de la toxicité	28
6.2.2.1	Toxicité en eau douce	28

6.2.2.2	Toxicité en eau salée	37
6.2.2.3	Toxicité chronique du mercure pour les espèces aquatiques	44
6.2.2.4	Toxicité pour les plantes aquatiques	45
6.2.3	Études sur le milieu aquatique	47
6.3	Toxicité pour d'autres espèces	49
6.3.1	Toxicité pour les mammifères	49
6.3.2	Toxicité pour l'avifaune	49
6.3.3	Toxicité pour les végétaux	50
6.3.4	Toxicité pour certains insectes, mammifères et batraciens	51
6.4	Études des effets toxiques	54
6.5	Dégradation du polluant	54
6.5.1	Dégradation biologique	54
6.5.2	Effets sur les installations de traitement des eaux d'égout et des eaux usées	56
6.5.3	Vitesse de biodégradation et de dissipation	57
6.6	Devenir du polluant et effets à long terme	57
6.6.1	Bio-accumulation et teneur dans la chaîne alimentaire	57
6.7	Effets sur le sol	60
7	**Protection de la santé**	62
7.1	Normes d'exposition admissibles	62
7.2	Données sur les propriétés irritantes	63
7.2.1	Contact avec la peau	63
7.2.2	Contact avec les yeux	64
7.3	Seuil de perception des propriétés organoleptiques	64
7.3.1	Odeur	64
7.3.2	Goût	64
7.4	Études sur les effets toxiques	64
7.4.1	Inhalation	64
7.4.2	Ingestion	67
7.4.3	Injection sous-cutanée et intraveineuse	68
7.4.4	Cancérogénicité, tératogénicité et mutagénicité	68
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	69
7.5.1	Inhalation	69
7.5.1.1	Intoxication aiguë	69
7.5.1.2	Intoxication chronique	69
7.5.2	Ingestion	70
7.5.3	Contact avec la peau	70
7.5.4	Contact avec les yeux	70
8	**Compatibilité chimique**	72
8.1	Compatibilité du mercure et de divers corps chimiques et groupes de produits chimiques	72
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	73
9.1	Mesures recommandées	73
9.1.1	Risques d'incendie	73
9.1.2	Moyens d'extinction	73
9.1.3	Mesures d'intervention en cas de déversements	73
9.1.3.1	Déversements sur le sol	73
9.1.3.2	Déversements dans l'eau	73
9.1.4	Nettoyage et traitement	74
9.1.4.1	Déversements sur le sol	74
9.1.4.2	Déversements dans l'eau	74
9.1.4.3	Généralités	74
9.1.5	Élimination du polluant	77
9.1.6	Appareils et vêtements de protection	77
9.1.7	Précautions spéciales	78
9.2	Équipement et produits spécialisés d'intervention	78

10	**Cas de déversement accidentel**	79
10.1	Fuite dans un camion	79
11	**Identification et dosage du polluant**	80
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative)	80
11.1.1	Spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme	80
11.2	Dosage du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)	81
11.3	Dosage du polluant dans l'eau (analyse quantitative)	81
11.3.1	Absorption atomique (méthode à froid)	81
11.4	Caractérisation du mercure présent dans l'eau (analyse qualitative)	81
11.4.1	Ions mercureux	81
11.4.2	Ions mercureux et mercuriques	81
11.5	Dosage du polluant présent dans le sol (analyse quantitative)	82
11.5.1	Méthode colorimétrique	82
11.6	Dosage du polluant dans le sol (analyse qualitative)	83
12	**Références et bibliographie**	85
12.1	Références	85
12.2	Bibliographie	93

LISTE DES FIGURES

1	Pression de vapeur en fonction de la température	7
2	Masse volumique du liquide en fonction de la température	7
3	Viscosité du liquide en fonction de la température	8
4	Diagramme de phases	8
5	Vitesse limite de chute en fonction du diamètre de la particule	17
6	Vitesse de sédimentation en fonction de la vitesse limite de chute	18
7	Distance parcourue en aval en fonction de la vitesse de sédimentation	20
8	Migration dans le sous-sol	21
9	Plan d'utilisation des nomogrammes	23
10	Migration dans du sable grossier	24
11	Migration dans du sable limoneux	25
12	Migration dans un till argileux	26

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 6
2 Compatibilité entre le mercure et certains matériaux de fabrication 13
3 Facteur de bioconcentration 58

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
Temp.	Température
$Temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales

TT min.	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
vol.	Volume
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
^{o}Bé	Degré Baumé
^{o}C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
$\not{W}$	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse)

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). –Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-*C* sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-*C* *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Mercure (Hg)
Métal liquide, blanc argenté, très mobile et inodore.

Synonymes
Mercure métallique, vif argent, hydrargyre.

Numéros d'identification
UN: 2809; CAS: 7439-97-6; OHM-TADS: 7216782; STCC: 492369.

Qualités et teneurs
Disponible en qualités commerciale, pour instruments, bidistillée, technique et tridistillée.

Dangers immédiats
Incendie. – Le mercure est incombustible. Il se vaporise facilement, en libérant des vapeurs toxiques.
Effet sur l'homme. – Le mercure est très toxique par inhalation, absorption cutanée, contact avec les yeux et la peau. Il est considéré très peu toxique par ingestion.
Effet sur l'environnement. – Le mercure à l'état métallique n'est pas directement toxique pour les espèces du milieu aquatique. Mais sous l'influence de micro-organismes, il est transformé en méthylmercure qui lui est toxique.

Données relatives aux propriétés physiques
État (15 °C, 1 atm): liquide
Point d'ébullition: 356,9 °C
Point de fusion: -38,87 °C
Inflammabilité: incombustible
Pression de vapeur: 0,1601 kPa (20 °C)
Densité relative (eau = 1): 13,5939 (20 °C/4 °C)
Solubilité (dans l'eau): 25 g/l (25 °C)
Comportement (dans l'eau): coule au fond, sans produire de réaction

Dangers pour l'environnement
Le mercure et ses composés peuvent se disperser dans l'environnement, et il peut y avoir bio-accumulation dans la chaîne alimentaire qui mène à l'homme.

Dangers pour l'homme
Teneur maximale admissible (TLV®) établie par l'ACGIH: 0,05 mg/m^3 (absorption cutanée, sous forme de vapeur de Hg).
Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) établie par le NIOSH: 28 mg/m^3.
Effets dus à une exposition. – L'inhalation provoque un goût métallique, des nausées et des maux de tête. La respiration peut devenir rapide et difficile lors d'une exposition à de très fortes teneurs. Le mercure est absorbé par la peau et il peut y avoir irritation et inflammation de la peau en cas de contact cutané. Si du mercure vient en contact avec les yeux, les symptômes seraient de l'irritation, le larmoiement et un oedème des paupières.

Dispositions immédiates à prendre

• En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler «POISON». Avertir le distributeur et les services de protection de l'environnement. Contenir le produit déversé, si cela ne présente aucun danger. Éviter de toucher au produit et ne pas inhaler les vapeurs qu'il dégage. Empêcher toute eau polluée (et le produit) d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

• En cas d'incendie

Le mercure est incombustible. Refroidir les récipients exposés aux flammes avec de l'eau.

Mesures d'intervention d'urgence

• Mercure répandu sur le sol

Construire des barrages pour confiner le produit déversé. Enlever le produit au moyen d'équipement d'aspiration à vide. Dans le cas de très petits déversements, une bouteille d'aspiration munie d'un tube capillaire peut convenir. Garder le produit récupéré dans des récipients hermétiquement fermés.

• Mercure déversé dans l'eau

Confiner le produit avec des sacs de sable, des obstacles naturels ou en creusant des fosses dans lesquelles le mercure se déposera. Récupérer le produit piégé au moyen de tuyaux d'aspiration.

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Aspect	Liquide blanc argenté légèrement bleuâtre (CPTE, 1974)
État à l'expédition	Liquide (CCD, 1977)
État physique (à 15 °C, 1 atm)	Liquide
Variables d'état	
Point de fusion/point de congélation	-38,87 °C (CPTE, 1974)
Point d'ébullition	356,9 °C (Kirk-Othmer, 1981)
Pression de vapeur	0,1601 Pa (20 °C) (CRC, 1980)
Densités	
Masse volumique	13,546 g/cm^3 (20 °C) (CRC, 1982) 13,595 g/cm^3 (0 °C) (Kirk-Othmer, 1981)
Densité relative	13,5939 (20 °C/4 °C) (CRC, 1980)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Incombustible (CCD, 1977)
Solubilité	
Dans l'eau	25 µg/l (25 °C, en l'absence d'air, neutre) (Linke, 1958) 60 µg/l (30 °C, contact avec l'air) (Linke, 1958) 300 µg/l (85 °C, en l'absence d'air) (Linke, 1958) 600 µg/l (100 °C, en l'absence d'air) (Linke, 1958)
Dans d'autres substances d'utilisation courante	Soluble dans l'acide nitrique; insoluble dans l'acide chlorhydrique dilué, l'acide hydrobromique, l'acide iodhydrique et l'acide sulfurique froid (CRC, 1980)
Autres propriétés	
Masse atomique de la substance	200,59 (CRC, 1980)
Composition caractéristique de la qualité commerciale	99,9 p. 100 de mercure (Kirk-Othmer, 1981)
Résistivité	95,8 µohm . cm (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)
Viscosité	1,55 mPa . s (20 °C) (CPTE, 1974)
Tension superficielle avec l'air	465 mN/m (20 °C) (CPTE, 1974) 480,3 mN/m (0 °C) (Kirk-Othmer, 1981)
Tension interfaciale avec l'eau	375 mN/m (20 °C) (CRC, 1980)
Chaleur latente de fusion	11,6 kJ/mol (au point de fusion) (CRC, 1980)
Indice de réfraction	1,6 à 1,9 (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)
Chaleur latente de sublimation	305,6 kJ/kg (25 °C) (Lange's Handbook, 1979)

Chaleur latente de vaporisation	283,6 kJ/kg (25 °C) (Lange's Handbook, 1979) 271,96 kJ/kg (25 °C) (Kirk-Othmer, 1981)
Potentiel d'ionisation	10,44 eV (Rosenstock, 1977)
Capacité thermique massique à pression constante ($P_{const.}$)	Solide: 141 J/kg (-40 °C) (Kirk-Othmer, 1981) Liquide: 137,9 J/kg (25 °C) (Kirk-Othmer, 1981) Gazeux: 103,6 J/kg (357 °C) (Kirk-Othmer, 1981)
à volume constant ($vol._{const.}$)	83,7 J/kg (25 °C) (Merck, 1976; Perry, 1973)
Pression critique	18 200 kPa (Lange's Handbook, 1979) 74 200 kPa (Kirk-Othmer, 1981)
Température critique	900 °C (Lange's Handbook, 1979) 1677 °C (Kirk-Othmer, 1981)
Point triple	-38,842 °C (Kirk-Othmer, 1981)
Coefficient de dilatation apparente	$0{,}182 \times 10^{-3}$/°C (20 °C) (Perry, 1973; Kirk-Othmer, 1981)
Conductivité thermique	0,092 W/cm^2 . K) (25 °C) (Kirk-Othmer, 1981)
Diffusivité (dans l'air)	0,112 cm^2/s (0 °C) (Perry, 1973)

Résumé des propriétés chimiques et physiques (Kirk-Othmer, 1981; Cotton, 1972)
Le mercure est un métal dense, blanc argent, liquide à la température ambiante. Le mercure solide est grisâtre; sa vapeur est incolore. À l'état naturel, il se rencontre essentiellement combiné avec du soufre; le minerai principal est le sulfure rouge (HgS), appelé «cinabre». Le métal obtenu par grillage du minerai est appelé mercure non recyclé qui est généralement pratiquement pur (plus de 99,9 p. 100). On peut le purifier encore davantage par distillation multiple ou par affinage électrolytique. Le mercure pur a un aspect lisse et brillant. Presque toutes les impuretés, y compris les amalgames, ont une densité relative inférieure et flottent à la surface, ternissant ainsi la surface miroitante du mercure.

Le mercure est relativement stable aux températures normales et ne réagit pas de façon notable avec l'air, l'ammoniac, le dioxyde de carbone, l'oxyde nitreux (N_2O), ou l'oxygène. La meilleure température de réaction avec l'oxygène se situe entre 300 à 350 °C; cependant, à des températures voisines de 400 °C et plus, le rapport de stabilité s'inverse et l'oxyde mercurique (HgO) se décompose rapidement en ses éléments. Le mercure se combine facilement à la température ambiante avec les halogènes, le soufre, le sélénium et le phosphore. Il ne réagit que légèrement avec l'acide chlorhydrique, mais il est attaqué par l'acide sulfurique concentré. L'acide nitrique dilué ou concentré dissout le mercure avec formation de sels mercureux (Hg_2^{++}) lorsque le mercure est en excès ou que les conditions sont athermiques, et de sels mercuriques (Hg^{++}) lorsque le mercure est traité avec un excès d'acide ou que le mélange est chauffé. À l'air, le mercure réagit rapidement avec le sulfure d'hydrogène.

De nombreux métaux réagissent avec le mercure pour former des amalgames, dont certains ont des compositions bien définies comme le Hg_2Na. Les métaux qui résistent bien voire très

bien à la corrosion par amalgamation avec le mercure sont le vanadium, le niobium, le molybdène, le césium, le tantale, le tungstène et le fer. Cette résistance diminue toutefois aux températures élevées, même dans le cas du fer.

L'une des plus importantes propriétés du mercure est sa dilatation apparente qui est uniforme tout au long de sa phase liquide. À cause de sa tension interfaciale élevée, le mercure ne mouille pas le verre et n'y adhère pas. Le mercure est considéré comme l'un des meilleurs métaux conducteurs de l'électricité; il peut également servir de fluide de refroidissement vu sa conductivité thermique élevée. Sa section efficace élevée de capture de neutrons thermiques lui permet d'absorber facilement les neutrons et d'agir en tant que bouclier pour les appareils à neutrons.

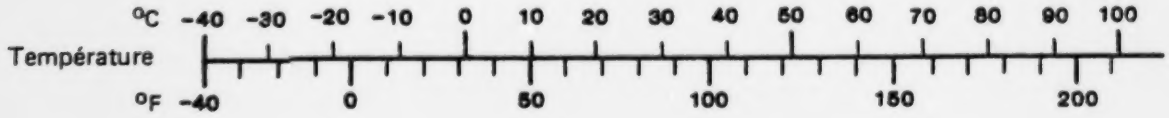
La chaleur spécifique du mercure augmente proportionnellement avec la température en phase solide et diminue de façon non uniforme en phase liquide. Il convient de remarquer que sa chaleur spécifique est la même à 210 °C qu'à -75 °C. La pression de vapeur est également irrégulière et est représentée par les équations suivantes:

0-150 °C $\log P = -3212{,}5/T + 7{,}150$

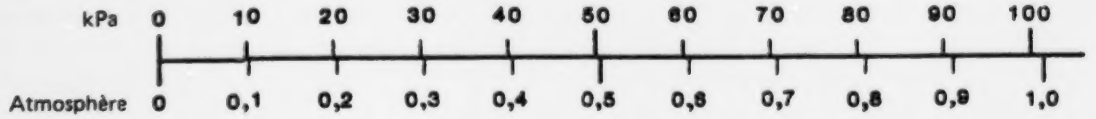
150-400 °C $\log P = 3141{,}33/T + 7{,}879 - 0{,}00019\,t$

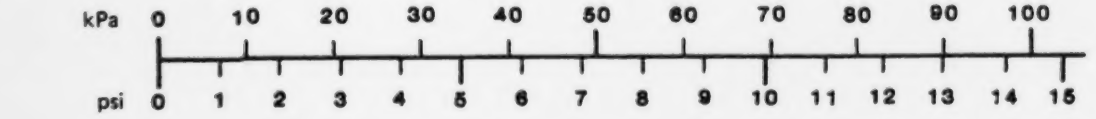
où P est la pression de vapeur en kPa, T est la température absolue en degrés Kelvin et t est la température en degrés Celsius.

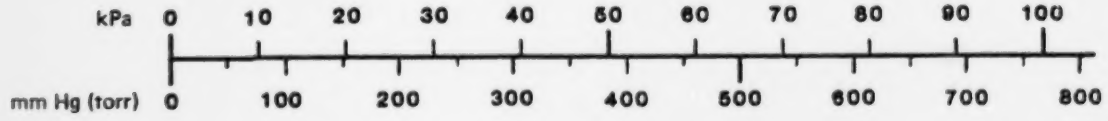
MERCURE — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression — 1 kPa = 1 000 Pa







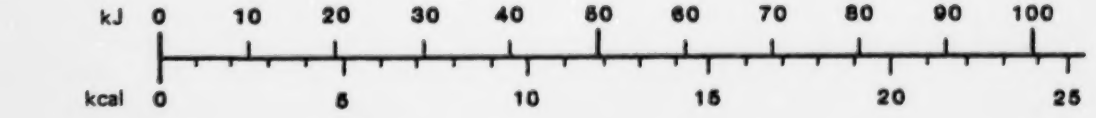
Viscosité

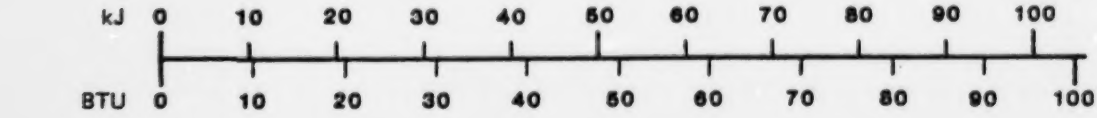
Dynamique — 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1 000 J





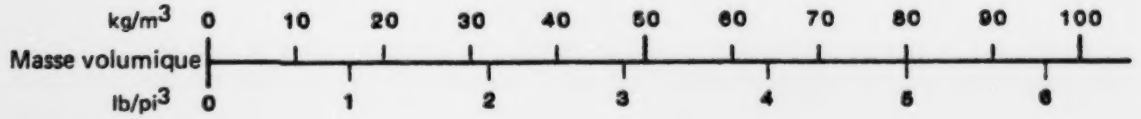


Figure 1

MERCURE

PRESSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: CRC, 1982

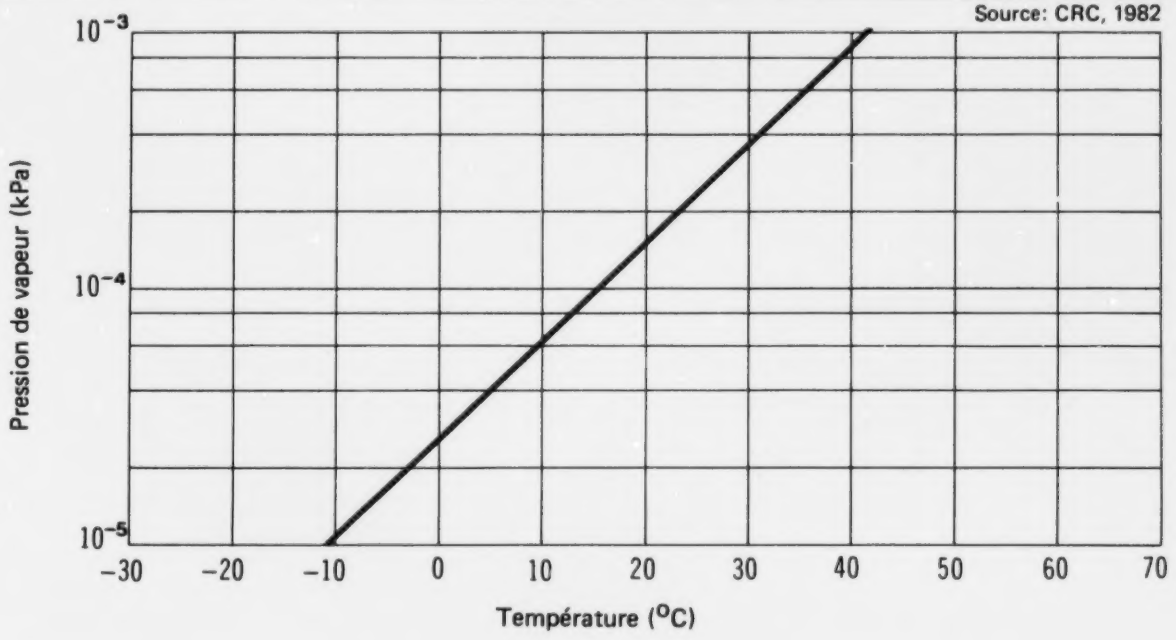


Figure 2

MERCURE

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: CRC, 1982

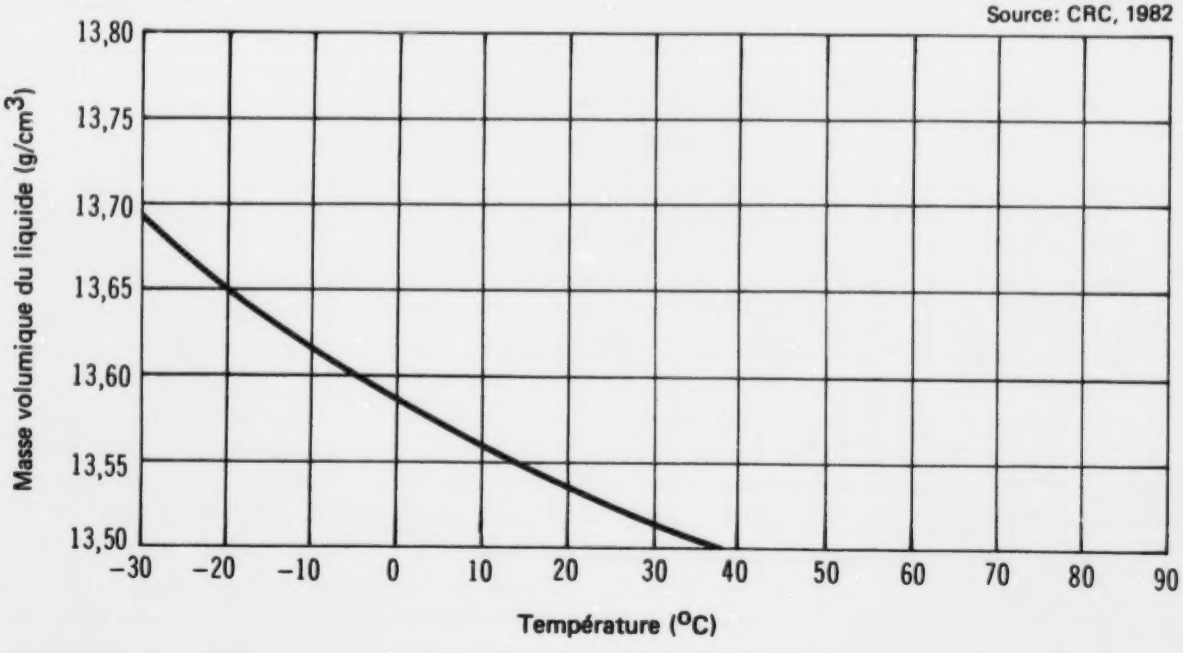


Figure 3

MERCURE

VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: CRC, 1982

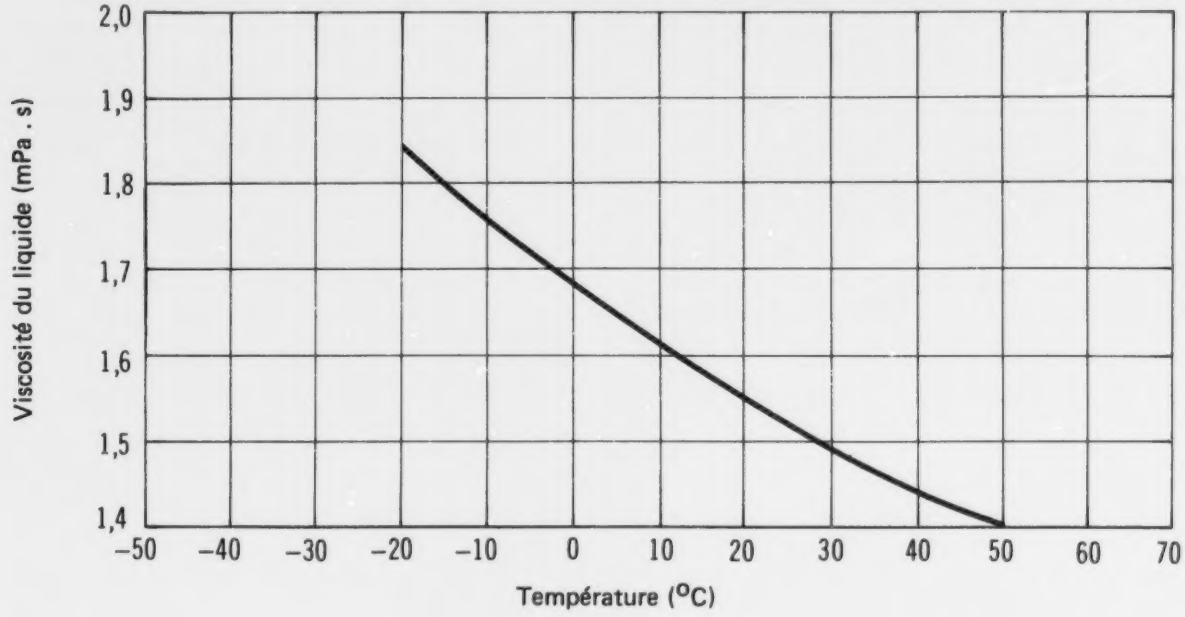
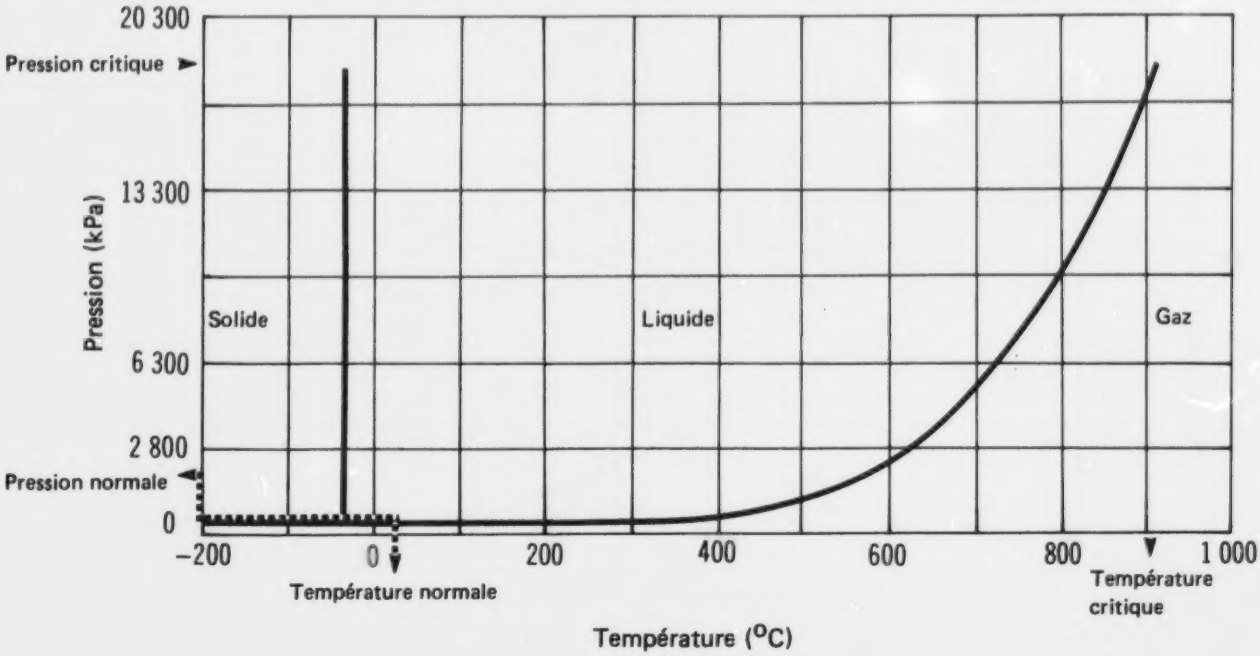


Figure 4

MERCURE

DIAGRAMME DE PHASES



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et teneurs (CBG, 1980)

Le mercure se vend en cinq qualités: commerciale (non recyclé), pour instruments, bidistillée, technique et tridistillée.

3.2 Producteurs situés au Canada (CMR, 1979)

Il n'y a aucun producteur de mercure au Canada. La dernière mine, celle du lac Pinchi exploitée par la Cominco Ltd. de Colombie-Britannique, a été fermée en juillet 1975.

3.3 Fournisseurs (CBG, 1980)

Le mercure est importé par les distributeurs canadiens suivants:

A & C American Chemical Ltd., 3010 rue De Baene, St-Laurent (Qc) H4S 1L2, (514) 336-1493.
Anachemia Ltd., C.P. 147, Lachine (Qc) H8S 4A7, (514) 489-5711.
Engelhard Industries of Canada Ltd. 512 King Street East, Toronto (Ont.) M5A 1M2 (416) 362-3211.
International Chemical Canada Ltd., P.O. Box 385, Brampton (Ont.) L6V 2L3, (416) 453-4234.
Johnson Matthey Limited, Chemical Division, 130 Gliddon Road, Brampton (Ont.) L6W 3M8, (416) 453-6120.
Philipp Brothers (Canada) Ltd., 1245 rue Sherbrooke Ouest, Montréal (Qc) H3G 1G9, (514) 845-4294.
Van Waters & Rogers Ltd., 9800 Van Horne Way, Richmond (C.-B.) V6X 1W5, (604) 273-1441.

3.4 Centres d'utilisation

Tout le mercure utilisé au Canada est importé. On trouve des utilisateurs à travers tout le Canada.

3.5 Volume de production (CMR, 1979; Kirk-Othmer, 1981)

Tel que déjà mentionné, on ne produit plus de mercure au Canada. Environ 51 tonnes de mercure ont été importées en 1979. Le mercure métallique est obtenu du minerai à l'aide d'une méthode normalisée, brièvement décrite ci-dessous.

3.5.1 Préparation. – Le procédé principal consiste à chauffer le minerai pour en libérer le métal sous forme de vapeur qui est ensuite refroidie dans un système de condensation pour obtenir le mercure liquide. Les petites entreprises utilisent des cornues ou des fours; des fours rotatifs en continu ou des fours à soles multiples à alimentation et évacuation mécaniques sont utilisés dans les grandes exploitations. L'efficacité de la récupération dépasse généralement 95 p. 100. Le mercure obtenu est appelé mercure commercial non recyclé, pratiquement pur (99,9 p. 100). Il existe d'autres méthodes de récupération du mercure à partir du minerai, mais ces méthodes n'ont pas d'importance commerciale actuellement.

La récupération secondaire se fait à partir de déchets industriels et municipaux et de boues contenant du mercure. Les rebuts qui contiennent du mercure sont mis en pièces pour en libérer

le mercure métallique ou ses composés. Le métal est ensuite vaporisé et condensé pour donner un produit d'une grande pureté. Les déchets et les boues sont généralement traités chimiquement avant le grillage.

3.6 Principales utilisations au Canada (CMR 1979)

Le mercure est utilisé pour la fabrication d'appareillages électriques et la production électrolytique de chlore et de soude caustique. Il entre notamment dans la fabrication de lampes à vapeur de mercure, piles, redresseurs à vapeur de mercure, oscillateurs et divers types d'interrupteurs. Le mercure est également utilisé pour la fabrication de peintures anti-moisissures, d'instruments industriels et de contrôle, de pesticides, de catalyseurs et d'amalgames dentaires, ainsi que comme écran contre les rayonnements nucléaires.

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ AVEC CERTAINS MATÉRIAUX

4.1 Contenants et autres récipients d'expédition

4.1.1 Emballage. – (HMR, 1978; Keller, 1983):

Mercure liquide

– récipients de verre, de terre cuite ou de plastique, d'une capacité maximale de 2,3 kg (5 livres), placés dans un contenant extérieur robuste. Le récipient intérieur ou le contenant extérieur seront soit chemisés ou placés dans des sacs faits d'un matériau robuste, étanche, imperméable au mercure et résistant aux perforations.

– récipients en métal ou en fer d'une capacité de 34,5 kg (76 livres) placés dans des contenants extérieurs. Le récipient intérieur ou le contenant dans lequel il est placé seront également chemisés ou enveloppés d'un matériau robuste étanche résistant aux perforations, imperméable au mercure (Kirk-Othmer, 1981).

Produits manufacturés contenant du mercure

– doivent être emballés dans des contenants extérieurs chemisés ou enveloppés d'un matériau répondant aux exigences décrites ci-dessus.

Tubes électroniques, lampes à vapeur de mercure, etc. (HMR, 1978; Keller, 1983)

– emballages externe avec joints scellés par un ruban auto-adhésif empêchant la fuite du mercure. Ce type d'emballage convient seulement pour les articles contenant au plus 454 g (1 livre) de mercure.

– emballage extérieur entièrement doublé ou enveloppé d'un matériau robuste, étanche, résistant aux perforations et imperméable au mercure.

– emballage original du fabricant si les tubes sont complètement chemisés dans des boîtiers métalliques étanches et scellés.

– emballage original du fabricant si chaque article ne contient pas plus de 5 g (0,18 oz) de mercure par tube, pour une quantité nette totale de 30 g (1,1 oz) ou moins par boîte (TDGC 1980).

4.1.2 Transport en vrac. – Le mercure n'est pas transporté en vrac dans des wagons-citernes, des véhicules-citernes routiers ni dans des réservoirs portatifs. Les produits emballés peuvent cependant être transportés par train, camion, bateau ou avion.

4.2 Manipulation, entreposage

Les emballages contenant du mercure doivent être manipulés avec précaution de façon à ne pas endommager l'emballage externe ni perforer l'emballage interne.

Les contenants doivent être entreposés dans un milieu sec, à la température ambiante et doivent être placés debout, conformément aux inscriptions qui figurent à l'extérieur de l'emballage.

4.3 Compatibilité entre le mercure et certains matériaux

La compatibilité du mercure et de certains matériaux qui entrent dans la fabrication de l'équipement de service est indiquée dans le tableau 2. Le système d'évaluation utilisé est décrit brièvement ci-après.

Recommandé: Le matériau conviendra pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; peut convenir pour un usage intermittent ou de courte durée.

Déconseillé: Le matériau se détériorera rapidement advenant son emploi pour l'utilisation indiquée; il est donc déconseillé.

Tableau 2
Compatibilité entre le mercure et certains matériaux de fabrication

Application	Temp. (°C)	Matériau recommandé	Réserves	Matériau déconseillé
1. Conduites et raccords	60	Chlorure de polyvinyle I (DPPED, 1967)	Chlorure de polyvinyle II (DPPED, 1967)	
	66	Polypropylène Polychlorure de vinylidène (DCRG, 1978)		
	121	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	135	Polyfluorure de vinylidène (DCRG, 1978)		
	jusqu'à la limite de tolérance du matériau	Chlorure de polyvinyle I Acrylonitrile-butadiène-styrène Polyéthylène (MWPP, 1978)		
2. Robinetterie	49	Acier inoxydable 316 (JSSV, 1979)		
3. Autres	20	Acier inoxydable 302 Acier inoxydable 304 Acier inoxydable 316 Acier inoxydable 430 (ASS)	Acier inoxydable 410 (ASS)	
	25 (temp. ambiante)	Titane (FMT) Tantale (AMC) Acier inoxydable 304, 304L, 316L, 321, 347 Nickel, Monel, Inconel (GAC; SFC, 1981)		Cuivre, alliages de cuivre (CE, 1980b) Aluminium (RLM, 1984; CE, 1980a)
	60	Polyéthylène, polypropylène, polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, caoutchouc d'acrylonitrile/butadiène (Nitrile, Buna N),	Chlorure de polyvinyle non plastifié (GF) Tufflex, Gastron, élastomère polyester Nylon	

Tableau 2 (suite)

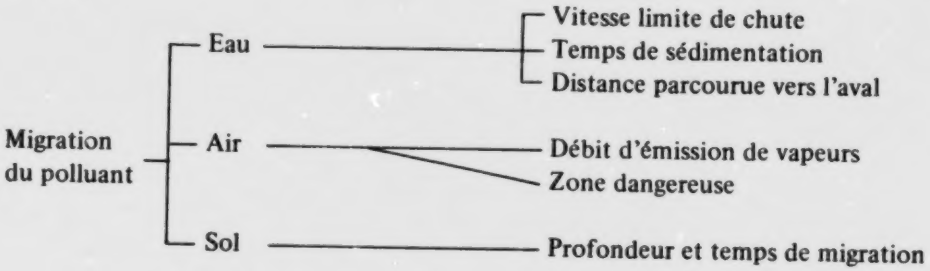
Application	Temp. (°C)	Matériau recommandé	Réserves	Matériau déconseillé
		caoutchouc butyle, copolymère éthylène-propylène, polychloropène, caoutchouc fluoré (Viton), polyéthylène chlorosulfoné, (GF), chlorure de polyvinyle (TPS, 1978)	(CE, 1980a)	
	66	Polypropylène (TPS, 1978)		
	85	Chlorure de polyvinyle chloré (TPS, 1978)		
	121	Polyfluorure de vinylidène (TPS, 1978)		
		Styrène-butadiène (GR-5, Buna S) (GPP)		
	24 - 316	Verre (CDS, 1967)		
	24	Ciment (CDS, 1967)		
	24 - 100	Bois (CDS, 1967)		

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

Le mercure est généralement transporté dans de petits contenants pesant moins de 35 kg. Lorsqu'il est déversé dans l'eau, le mercure coule et se répand au fond. Déversé sur le sol, le liquide se répand à la surface puis pénètre dans le sol à une vitesse qui dépend du type de sol et de la teneur en eau de ce dernier. L'infiltration du mercure jusqu'à la nappe phréatique peut créer des problèmes sur le plan de l'environnement. Le mercure est très volatil; la vapeur émise d'une nappe de mercure liquide répandu à la surface du sol constitue donc un danger possible pour l'environnement.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsque du mercure migre dans l'air, l'eau ou le sol:



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser pour chaque milieu des hypothèses différentes et plus ou moins compatibles. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques pour les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

Le mercure est généralement transporté dans de petits emballages ou de petits contenants. Aucun nomogramme n'a donc été préparé pour la fuite éventuelle du mercure.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. – Étant donné que le mercure est un liquide très volatil, les vapeurs émises par une nappe de mercure liquide déversé à la surface du sol peuvent constituer un grave danger du côté sous le vent. La vapeur de mercure étant extrêmement toxique, TLV® = 5 x 10^{-5} g/m^3), nous avons choisi un déversement d'une quantité précise de mercure, sur un sol plat, pour estimer la distance dangereuse.

La vitesse d'évaporation du mercure a été calculée à partir des équations sur les vitesses d'évaporation qui figurent dans le Manuel d'introduction de la collection Enviroguide. La vitesse d'évaporation calculée pour le mercure à 30 °C et un vent de 4,5 m/s (16,1 km/h) est de

2×10^{-4} g/(m^2 . s). Dans l'exemple qui suit, la quantité déversée est de une tonne (73,5 l), de mercure, quantité qui représente la limite maximale possible. On suppose de façon tout à fait arbitraire que le mercure déversé formerait une mare symétrique de 2 mm d'épaisseur. Une tonne de mercure formerait donc une mare d'un rayon de 3,4 m (soit une superficie de 36 m^2).

Le débit d'émission des vapeurs (q) calculé pour le déversement d'une tonne de mercure est de $7,3 \times 10^{-3}$ g/s. Dans les conditions de la catégorie météorologique F et avec une teneur dangereuse en mercure égale à 10 fois la TLV® (ou 5×10^{-4} g/m^3), la distance dangereuse maximale sous le vent est bien inférieure à 100 m. Étant donné que cet exemple représente le pire cas envisageable, on peut arbitrairement fixer à 100 m la distance dangereuse tout autour du point source advenant un déversement de mercure identique à celui pris pour exemple ou de déversements de quantités moindres de mercure ou s'étant produits à des températures inférieures.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Déversé dans l'eau, le mercure coule et s'étale sur le fond. Des nomogrammes ont été établis pour déterminer la zone polluée dans un cours d'eau non soumis à l'action de la marée. Cet exemple représente le pire scénario en ce qui a trait à l'étendue de la zone polluée.

Pour calculer l'étendue polluée du lit d'un cours d'eau dans lequel un liquide insoluble de forte densité relative a été déversé, nous nous sommes servis d'un modèle mathématique (Thibodeaux, 1980) pour estimer la vitesse limite (de chute) (V_f) des particules. La vitesse limite d'une particule dépend, d'une part, de sa densité relative, de sa taille, de sa section efficace et, d'autre part, de la densité et de la viscosité de l'eau. La traînée qui s'oppose à la pesanteur varie selon le débit. Le modèle est présenté en détail dans le Manuel d'introduction de la collection Enviroguide.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion. – Les nomogrammes qui suivent permettent de calculer l'étendue du lit d'un cours d'eau pollué en aval du lieu de déversement de mercure.

Figure 5 Vitesse limite de chute en fonction du diamètre de la particule

Figure 6 Temps de sédimentation en fonction de la vitesse limite de chute pour une gamme de profondeurs de cours d'eau

Figure 7 Distance parcourue en aval du lieu de déversement en fonction du temps de sédimentation.

5.4.2.1 Vitesse limite de chute en fonction du diamètre de la particule. – La figure 5 permet de déterminer approximativement la vitesse limite (V_f), dans l'eau, d'une particule de mercure de diamètre D donné.

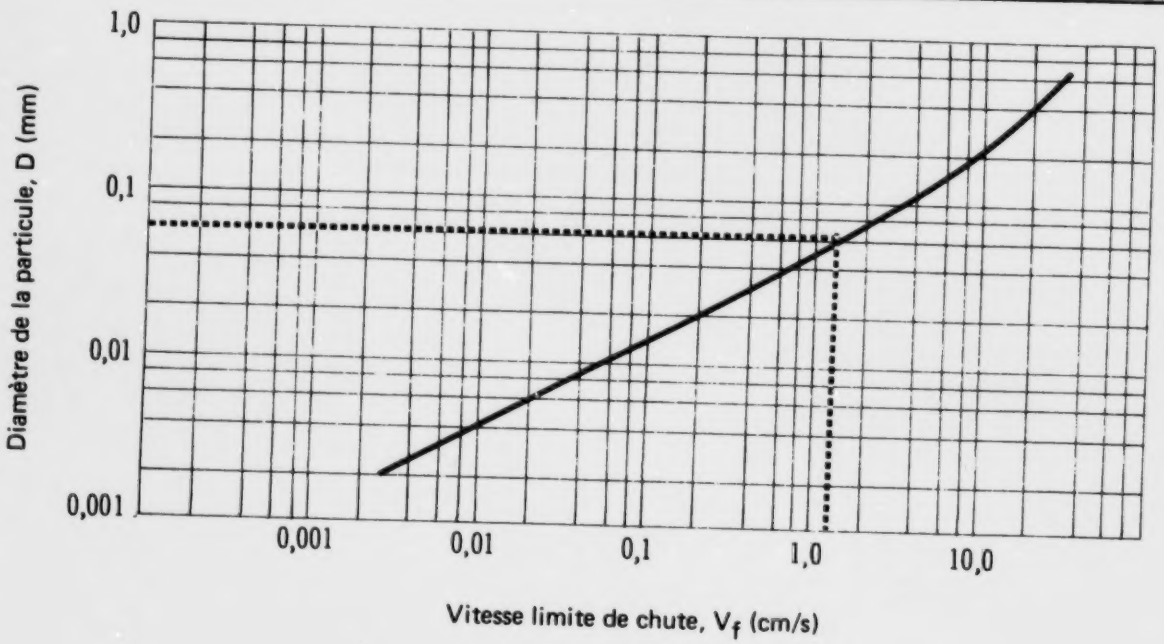
5.4.2.2 Temps de sédimentation en fonction de la vitesse limite de chute. – On peut estimer à l'aide de la figure 6 le temps (t) pris par une particule d'un diamètre donné pour se déposer au fond d'un cours d'eau d'une profondeur (h) lorsqu'elle se déplace à sa vitesse limite de chute (V_f), abstraction faite du brassage turbulent.

5.4.2.3 Distance parcourue en aval du lieu de déversement en fonction de la vitesse de sédimentation. – À partir du temps de sédimentation obtenu à la figure 6, on peut estimer à l'aide

Figure 5

MERCURE

VITESSE LIMITE DE CHUTE EN FONCTION DU DIAMÈTRE DE LA PARTICULE



de la figure 7 la distance (x) parcourue en aval du lieu de déversement par une particule de diamètre donné avant qu'elle n'atteigne le fond d'un cours d'eau, pour une plage de vitesses moyennes de courant.

5.4.3 Exemples de calculs

DONNÉES DU PROBLÈME

Il y a eu un déversement accidentel d'une tonne de mercure dans une rivière de 5 m de profondeur; la vitesse moyenne du courant est de 1 m/s. À quelle distance en aval du lieu de déversement une particule de 0,06 mm se déposera-t-elle au fond? Ne pas tenir compte de l'effet du brassage.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 À l'aide de la figure 5, trouver la vitesse limite de chute (V_f):
Comme D = 0,06 mm, V_f = 1,2 cm/s.

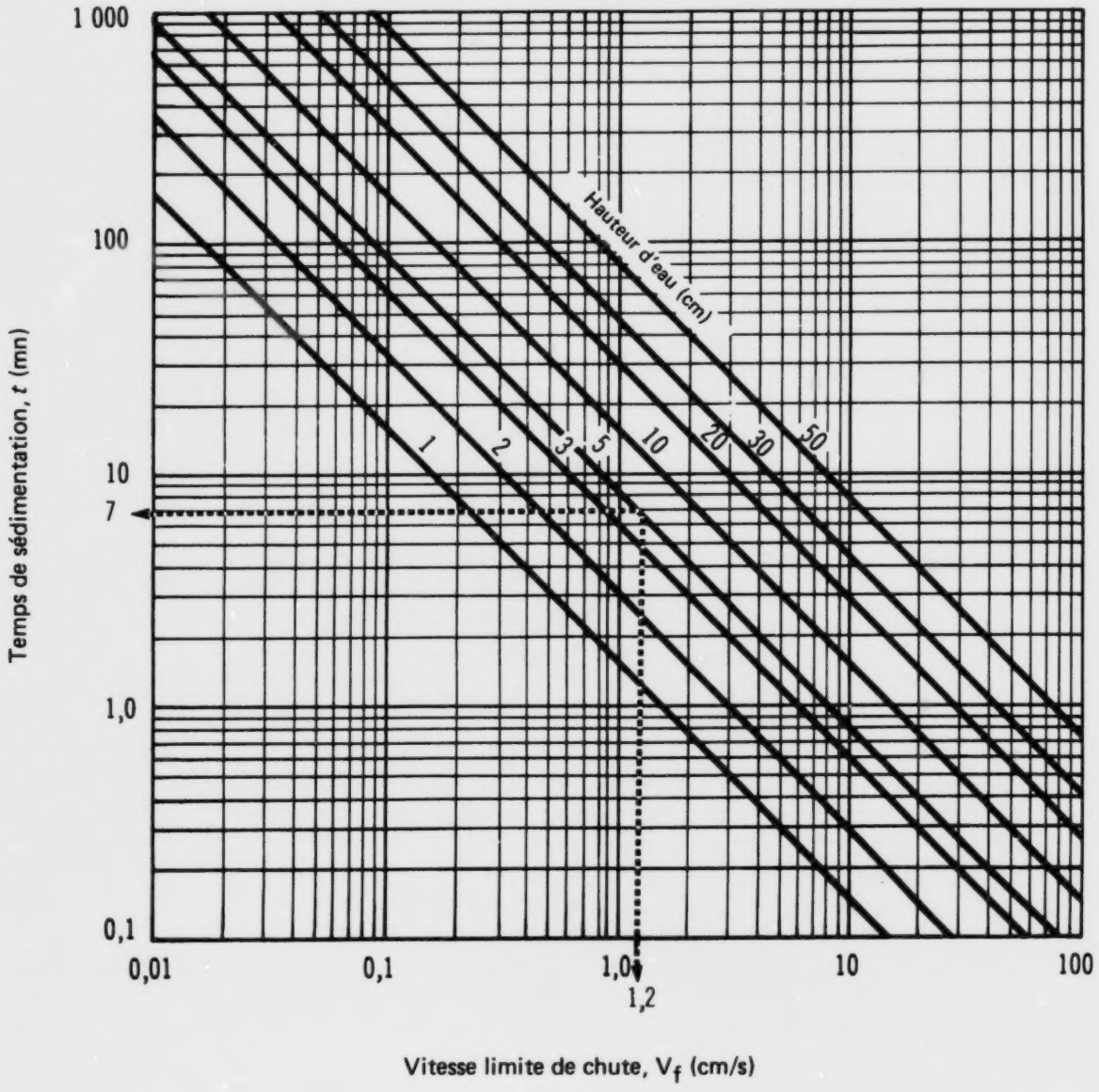
Étape 2 À l'aide de la figure 6, trouver le temps (t) qu'il faudra à une particule pour se déposer au fond de la rivière:
Comme V_f = 1,2 cm/s et h = 5 m, t = 7 mn.

Étape 3 À l'aide de la figure 7, déterminer la distance (x) parcourue par une particule de 0,06 mm en aval du lieu de déversement:
Comme t = 7 mn et une vitesse moyenne du courant (V) = 1 m/s, x = 300 m.

Figure 6

MERCURE

VITESSE DE SÉDIMENTATION EN FONCTION DE LA VITESSE LIMITE DE CHUTE



5.5 Comportement dans le sol de surface et le sous-sol

5.5.1 Introduction. – Les principes généraux de la migration des polluants dans le sol et leur application à la présente publication ont été expliqués dans le Manuel d'introduction de la collection Enviroguide. Nous n'aborderons donc ici que certains aspects propres au mercure et nécessaires pour établir des nomogrammes adéquats.

Le mercure est très peu soluble dans l'eau. Par conséquent, lorsqu'il est déversé sur le sol, son infiltration et sa migration dans le sol constituent un phénomène mettant en jeu plusieurs milieux, soit le mercure, l'eau, le sol et les vapeurs de mercure.

Malheureusement, il existe trop peu de données sur lesquelles s'appuyer pour expliquer en détail la migration du mercure dans des circonstances particulières. Quelques études intensives ont été faites sur le terrain, particulièrement dans le cas de déversements de pétrole, d'essence et de PCB, mais il n'existe que très peu d'informations au sujet du mercure. Par conséquent, il faut simplifier les conditions du sol et des eaux souterraines et exprimer le comportement du mercure par analogie à d'autres matières étudiées plus en détail. Un modèle de migration dans le sol des fluides non miscibles tels le mercure a déjà été préparé en comparant cette situation à celle du pétrole déversé sur le sol (Blokker, 1971; Freeze et Cherry, 1979).

On suppose, dans le cas présent, que le sol contient au plus une quantité d'eau correspondant à sa capacité au champ, et ce jusqu'à la nappe phréatique. Le mercure déversé remplit les pores du sol et commence à descendre. On suppose que le mercure descend dans le sol sous forme de colonne saturée (écoulement piston). Il peut y avoir une certaine migration horizontale sous l'effet de la pression capillaire. Étant donné que le mercure est beaucoup plus dense que l'eau, il progresse jusqu'à la nappe phréatique comme l'indique la figure 8.

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. – Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du polluant dans la zone non saturée d'un sol jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le Manuel d'introduction de la collection Enviroguide. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, en posant comme hypothèse la formation d'une colonne saturée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. – Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol donné vis-à-vis d'un polluant donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)
g = accélération de la pesanteur soit 9,81 m/s^2

Figure 7

MERCURE

DISTANCE PARCOURUE EN AVAL EN FONCTION DE LA VITESSE DE SÉDIMENTATION

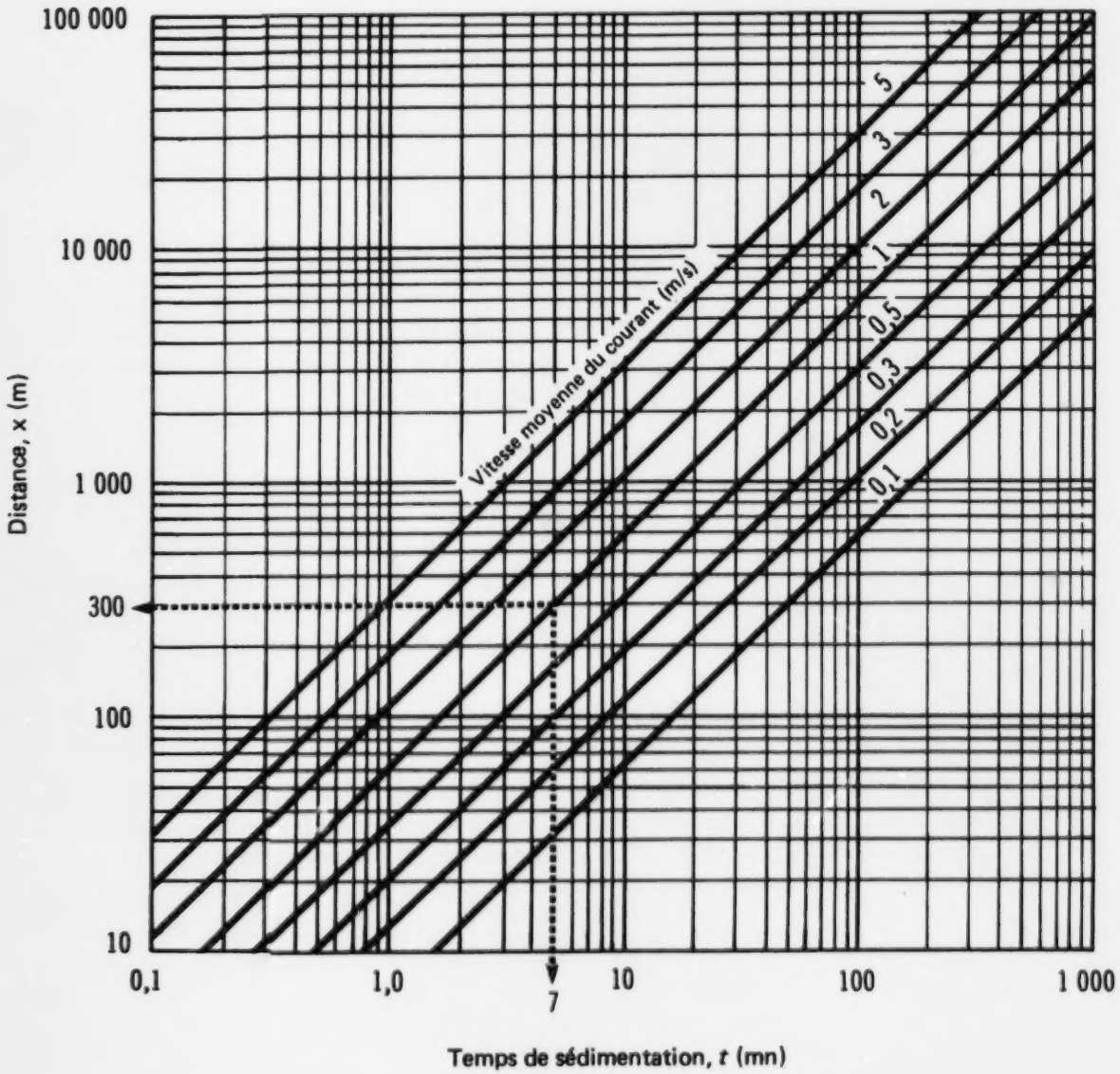
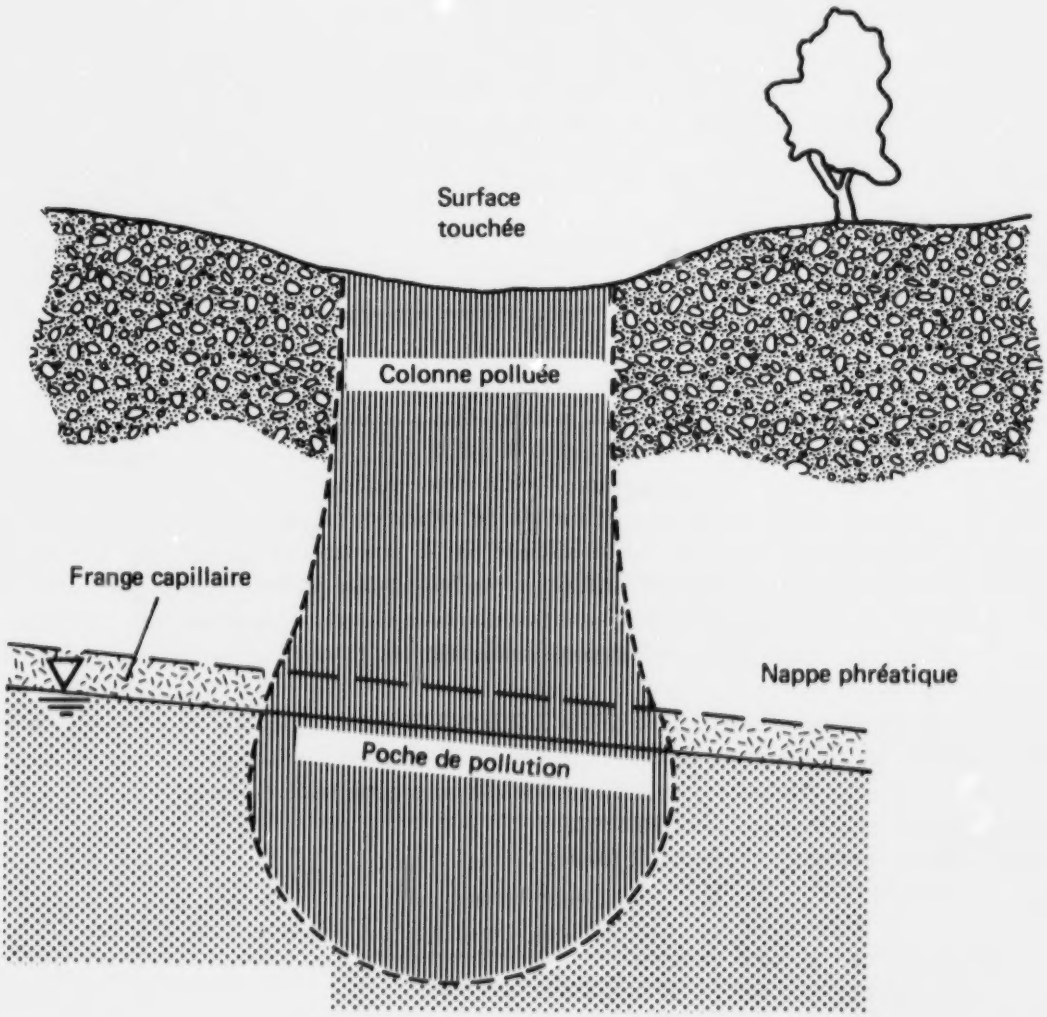


Figure 8

MERCURE **MIGRATION DANS LE SOUS-SOL**



Sol: sable grossier
- porosité = 0,35
- perméabilité intrinsèque = 10^{-9} . m^2
- capacité au champ = 0,075

Les propriétés relatives au mercure sont données dans le tableau ci-dessous:

	Mercure	
Propriété	20 °C	4 °C
Masse volumique, ρ (kg/m^3)	13 522	13 536
Viscosité absolue, μ (Pa . s)	$1{,}54 \times 10^{-3}$	$1{,}65 \times 10^{-3}$
Conductivité hydraulique, K_0 (m/s)	$(8{,}6 \times 10^{7})k$	$(8{,}0 \times 10^{7})k$

5.5.4 **Types de sol.** – Le Manuel d'introduction de la collection Enviroguide décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous indique les propriétés qui nous intéressent.

	Type de sol		
Propriété	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 **Nomogrammes de la migration.** – Un nomogramme de la migration du mercure dans la zone non saturée (au-dessus de la surface de saturation) a été préparé pour chacun des trois types de sol choisis. La profondeur atteinte par le polluant est donnée en fonction du temps de migration. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le polluant doit être considérée comme maximale pour le temps donné. La figure 9 indique la marche à suivre dans l'utilisation des nomogrammes (fig. 10, 11 et 12).

5.5.6 **Exemple de calcul.** – Une tonne de mercure a été déversée sur un sol constitué de sable limoneux. La température est de 20 °C et le rayon de la surface polluée est de 3,4 m. Calculer la profondeur atteinte par le polluant douze heures après le déversement.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.
Masse déversée = 1000 kg (1 tonne)
Température = 20 °C
Rayon = 3,4 m
Type de sol = sable limoneux
Profondeur de la surface de saturation = 13 m
Temps écoulé depuis le moment du déversement = 12 h

Étape 2 Calculer la surface de sol pollué.
Surface = πr^2 = 36 m^2

Étape 3 Évaluer la profondeur atteinte par le polluant douze heures après le déversement.
Dans le cas du sable limoneux, le polluant se trouve à 3,6 m, et n'a pas encore atteint la nappe phréatique.

Figure 9

MERCURE

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES

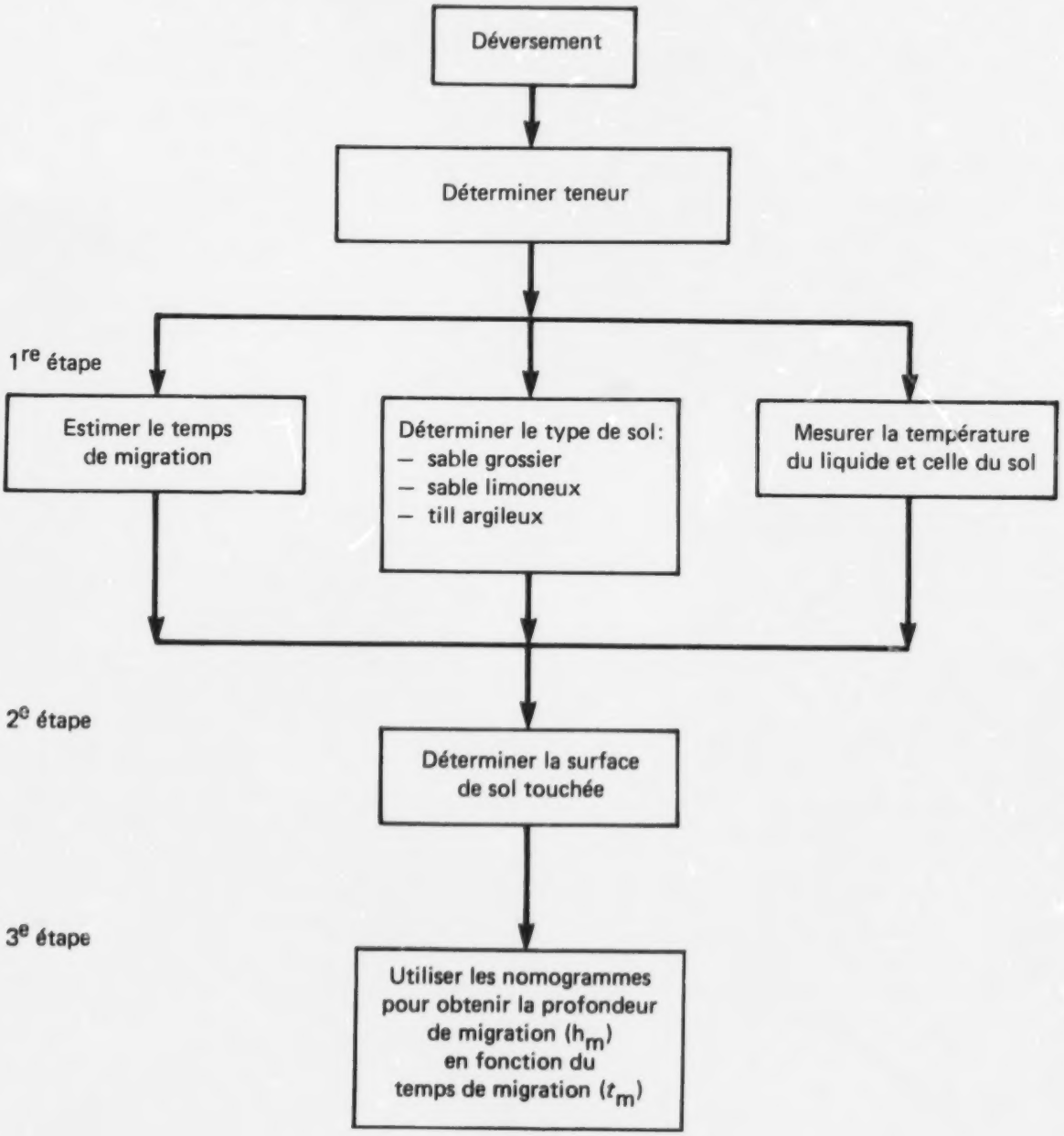


Figure 10

MERCURE

MIGRATION DANS DU SABLE GROSSIER

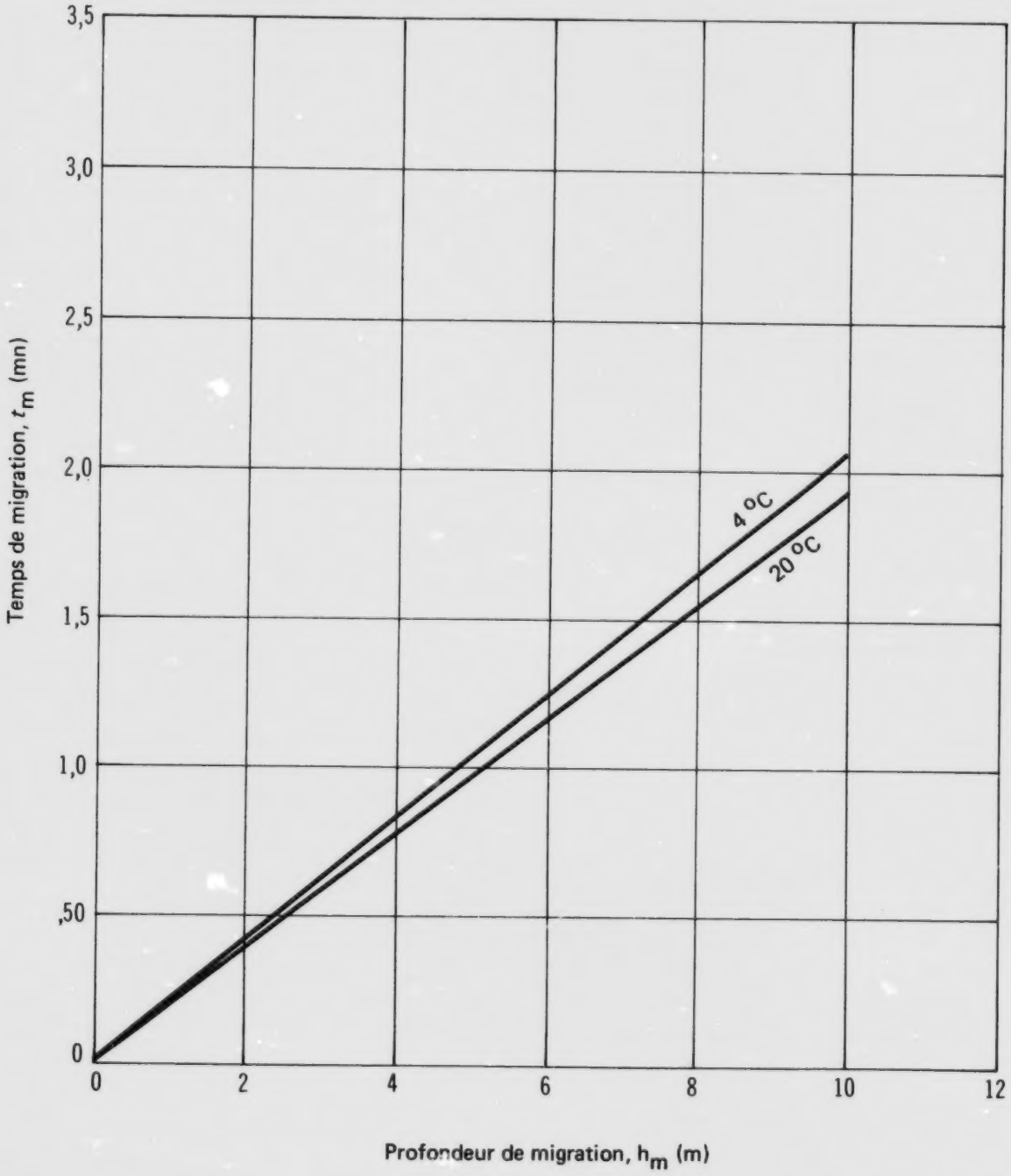


Figure 11

MERCURE

MIGRATION DANS DU SABLE LIMONEUX

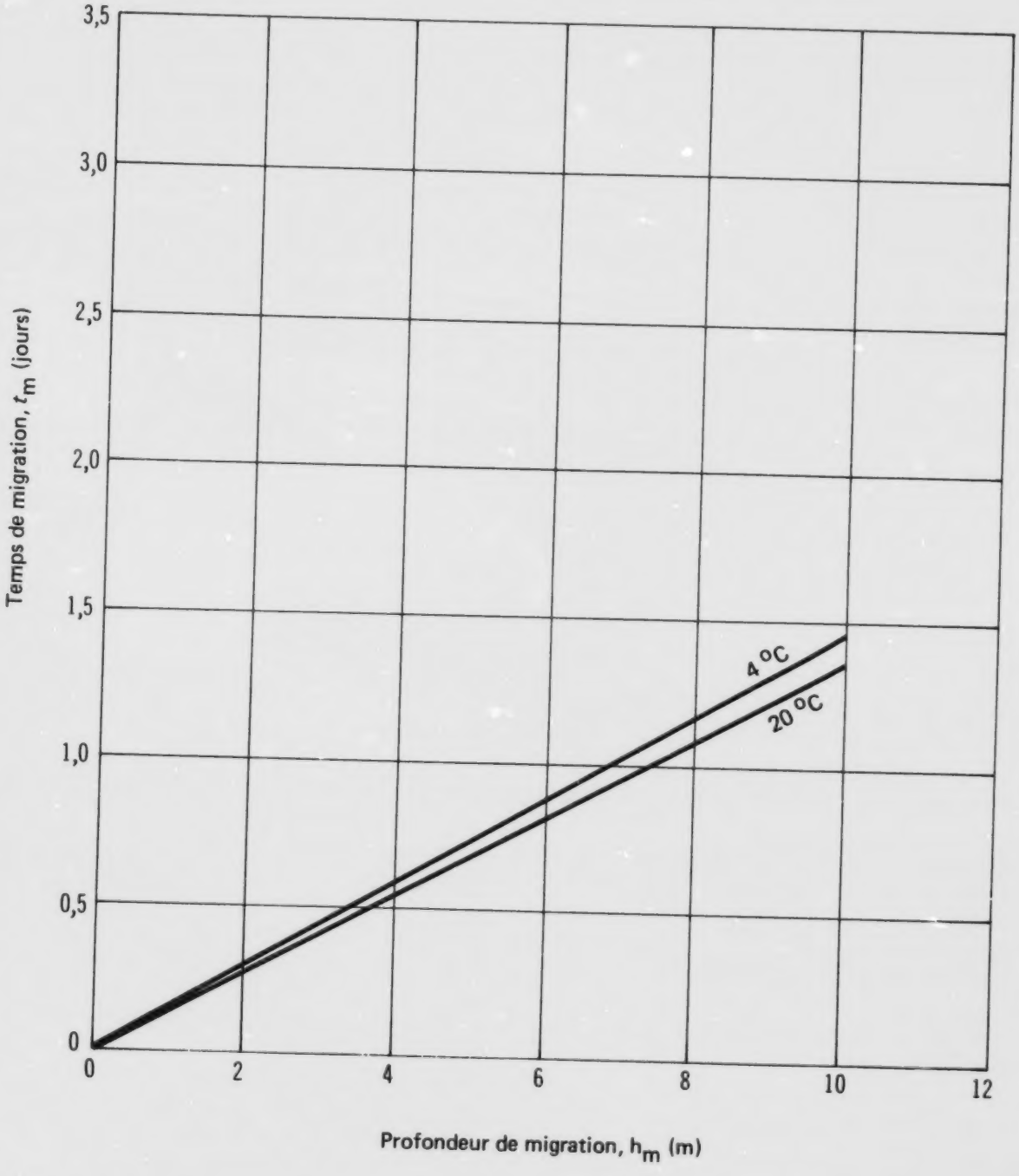
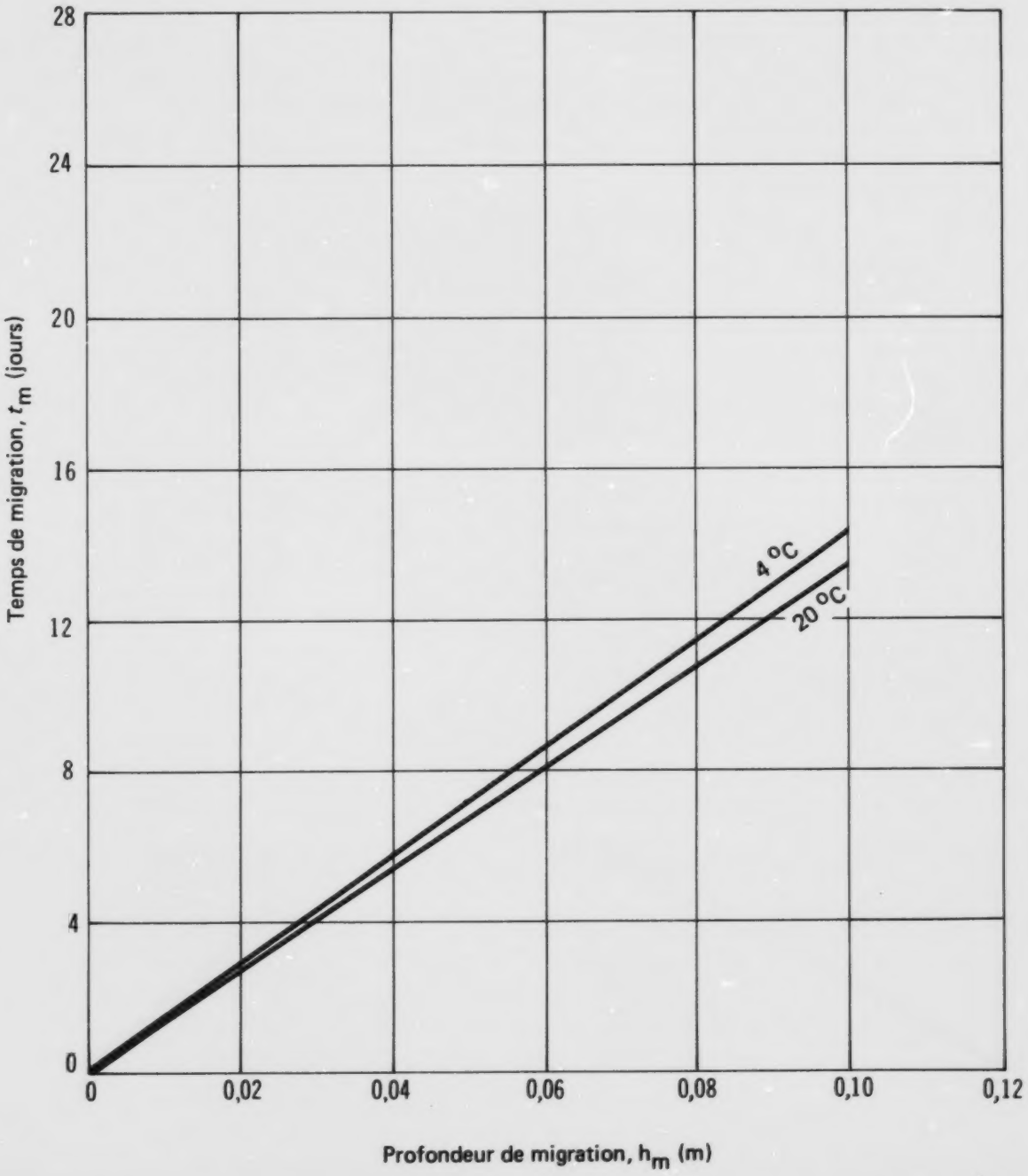


Figure 12

MERCURE

MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

Il est à noter que les limites maximales admissibles constituent dans certains cas des éléments de règlement, alors que dans d'autres cas elles correspondent seulement à des recommandations.

6.1.1 Qualité de l'eau. – Santé et Bien-être social Canada recommande une teneur maximale admissible de 0,001 mg de mercure par litre pour l'eau potable, avec un objectif de 0,0002 mg/l. L'Ontario a adopté le même objectif pour l'eau destinée au bétail et a fixé une limite de 0,01 mg de mercure par litre (Guidelines/Canadian/Water, 1978; Water Management Goals 1978, Ontario Ministry of Environment).

6.1.2 Qualité de l'air. – Pour le mercure en suspension dans l'air, l'Ontario a fixé la limite maximale à 5 $\mu g/m^3$ (libre ou combiné, maximum sur 0,5 h) (Loi sur la protection de l'environnement (Ontario), 1971; SPE, 1979). En vertu de cette Loi, la norme de qualité de l'air ambiant pour le mercure est de 2,0 $\mu g/m^3$ pour 24 heures (SPE, 1979).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux États-Unis. – Aucune TLm 96 (tolérance moyenne pour 96 h) n'a été établie pour le mercure élémentaire. Pour les composés de mercure cotés, les limites fixées varient entre 1 à 10 mg/l ou à moins de 1 mg/l; par exemple, la limite pour le chlorure mercurique est inférieure à 1 ppm (RTECS, 1979).

Aucune ligne directrice n'a été établie pour le mercure inorganique étant donné le manque de données sur la toxicité de ce produit pour les espèces dulçaquicoles. L'agence étatsunienne de protection de l'environnement (EPA) a recommandé une limite (moyenne sur 24 heures) de 0,064 $\mu g/l$ pour la protection des espèces dulçaquicoles en se basant principalement sur les données de la toxicité du mercure inorganique en eau salée. La teneur maximale ne devrait jamais dépasser 3,2 $\mu g/l$. D'après les données des directives, le critère pour le méthylmercure est de 0,016 $\mu g/l$ (moyenne de 24 heures), et la teneur ne doit jamais dépasser 8,8 $\mu g/l$. Dans le cas des espèces vivant en eau salée, les directives fixent une teneur de 0,19 $\mu g/l$ pour le mercure inorganique (moyenne sur 24 heures) et la teneur ne doit jamais dépasser 1,0 $\mu g/l$. Pour le méthylmercure, on s'est basé sur les données établies pour l'eau douce et le critère est de 0,025 $\mu g/l$ (moyenne sur 24 heures); la teneur ne doit jamais dépasser 2,6 $\mu g/l$ (PTP, 1980).

6.2.2 Mesure de la toxicité

6.2.2.1 Toxicité en eau douce

A. Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
1 à 5	24	Poisson (*T. mossambica*)	Mort	pH 7,5, 28 °C	Panigrahi, 1980
1,0 (Hg inorganique)	96	Poisson (espèce non précisée)	Mort	Bio-essai	WQC, 1972
0,0002 (diméthyl Hg)	6 sem.	Tête-de-boule	Mort		WQC, 1972
5	10	Poisson doré	Mort		Haga, 1970
0,01	6	Épinoche à neuf épines	Mort	15 à 18 °C	Klein, 1957
0	2 sem.	Cyprinodontidé, juvénile (1 sem.)	Mortalité de 2,2 p. 100	Poisson témoin	Chan, 1978
4,3 µg/l	2 sem.	Cyprinodontidé, juvénile (1 sem.)	Mortalité de 54,3 p. 100	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978
10,7 µg/l	2 sem.	Cyprinodontidé, juvénile (1 sem.)	Mortalité de 64,9 p. 100	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978
21,5 µg/l	2 sem.	Cyprinodontidé, juvénile (1 sem.)	Mortalité de 99,4 p. 100	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978
0	10 j	Oeufs de cyprinodontidé	Mortalité de 7 p. 100	Témoin, 21 °C	Dial, 1978
40 µg/l	10 j	Oeufs de cyprinodontidé	Mortalité de 5 p. 100	Sous forme de CH_3HgCl, 21 °C	Dial, 1978
60 µg/l	10 j	Oeufs de cyprinodontidé	Mortalité de 15 p. 100	Sous forme de CH_3HgCl, 21 °C	Dial, 1978
80 µg/l	10 j	Oeufs de cyprinodontidé	Mortalité de 45 p. 100	Sous forme de CH_3HgCl, 21 °C	Dial, 1978
5-15 µg/l	24	*Anabas scandens*	Tous les sujets (40 poissons) sont morts	Sous forme de $Hg(NO_3)_2$	Panigrahi, 1978
0,01	Non précisé	Poisson arc-en-ciel	Mort	Bio-essai destiné à évaluer la toxicité aiguë du Hg	WQC, 1971
0,008	10 j	Épinoche à 3 épines	Temps de survie	Bio-essai statique destiné à évaluer la toxicité aiguë du $HgCl_2$; pH 6,0-6,8; 15-18 °C	WQC, 1971; Jones, 1969
0,003 *N*	14 mn	Épinoche à 12 épines	Temps de survie	Sous forme de $HgCl_2$, bio-essai à écoulement continu	WQC, 1971; Jones, 1969
0,002 *N*	22 mn	Épinoche à 12 épines	Temps de survie	*Idem*	WQC, 1971; Jones, 1969
0,0003 *N*	31 mn	Épinoche à 12 épines	Temps de survie	*Idem*	WQC, 1971; Jones, 1969
0,00004 *N*	100 mn	Épinoche à 12 épines	Temps de survie	*Idem*	WQC, 1971; Jones, 1969

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,80 et 0,41 µg/l	3 mois	Tête-de-boule	Mort	Sous forme de CH_3HgCl	QCW, 1976
0,23 µg/l	3 mois	Tête-de-boule	Mortalité de 92 p. 100	Sous forme de CH_3HgCl	QCW, 1976
0,12 µg/l	3 mois	Tête-de-boule	Inhibition du frai; les organes de reproduction ne se sont pas développés chez les mâles	Sous forme de CH_3HgCl	QCW, 1976
0,07 µg/l	Un cycle de vie complet	Tête-de-boule	Aucun effet toxique n'a été remarqué chez les poissons ayant survécu; pas d'effet non plus sur la croissance des petits	Sous forme de CH_3HgCl	QCW, 1976
0,2	4 j	Épinoche à 3 épines	Temps de survie	$HgCl_2$, bio-essai en conditions statiques, recherche de la toxicité aiguë; pH 6,0-6,8; 15-18 °C	Jones, 1969
0,4	2,5 j	Épinoche à 3 épines	Temps de survie	*Idem*	Jones, 1969
0,8	17 j	Épinoche à 3 épines	Temps de survie	*Idem*	Jones, 1969
2,0	5 j	Épinoche à 3 épines	Temps de survie	*Idem*	Jones, 1969
4	100 mn	Épinoche à 3 épines	Temps de survie	*Idem*	Jones, 1969
0,01 (Hg)	204	Truite arc-en-ciel	Seuil létal	$HgCl_2$, 15-23 °C	Jones, 1969
0,15 (Hg)	108	Truite arc-en-ciel	Seuil létal	$HgCl_2$, 15-23 °C	Jones, 1969
1,0 (Hg)	600	Truite arc-en-ciel	Seuil létal	$HgCl_2$, 15-23 °C	Jones, 1969
0,240 ($HgCl_2$)	96	Saumon Coho, juvénile	TL $50^{1,2*}$	SS*	AWQC, 1983
0,275 ($HgCl_2$)	96	Truite arc-en-ciel, juvénile	TL $50^{1,2*}$	D*	AWQC, 1983
0,1587 ($HgCl_2$)	96	Tête-de-boule	TL $50^{1,2*}$	D	AWQC, 1983
0,180 ($HgCl_2$)	96	Gambusie, femelle	TL $50^{1,2*}$	S, NM*	AWQC, 1983
0,030 ($HgCl_2$)	96	Guppy (116-157 mg)	TL 50^{1*}	SS, NM	AWQC, 1983
0,04025 ($HgCl_2$)	96	Guppy (363-621 mg)	TL $50^{1,2*}$	SS, NM	AWQC, 1983

* Voir notes explicatives à la p. 44.

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,160 ($HgCl_2$)	96	Crapet arlequin, juvénile	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,024 (CH_3HgCl)	96	Larve de truite arc-en-ciel	TL 50[1*]	SS, NM	AWQC, 1983
0,042 (CH_3HgCl)	96	Truite arc-en-ciel, juvénile	TL 50[1*]	SS, NM	AWQC, 1983
0,025 (CH_3HgCl)	96	Truite arc-en-ciel, juvénile	TL 50[1*]	D, NM	AWQC, 1983
0,02789 (CH_3HgCl)	96	Truite arc-en-ciel, juvénile	TL 50[1,2]	D, M	AWQC, 1983
0,07389 (CH_3HgCl)	96	Omble de fontaine d'un an et juvénile	TL 50[1,2]	D, M	AWQC, 1983
0,35	96	Barbote brune	TL 50		Spehar, 1981
0,088± 0,098 (CH_3Hg^+)	96	Cyprinodontidé	TL 50	S, BE*	Chan, 1978
0,13	96	Crapet-soleil	TL 50		EPA 440/9-75-009
0,3	96	Carpe	TL 50		WQC, 1972
0,23	96	Fondule barré	TL 50	20 à 22 °C	WQC, 1972
0,5 à 1	48	Poisson doré	TLm		EPA 440/9-75-009
0,140 ($HgSO_4$)	168	Larve de saumon rose	TL 50		AWQC, 1983
0,290 ($HgSO_4$)	168	Larve de saumon sockeye	TL 50		AWQC, 1983
0,190 ($HgSO_4$)	168	Saumon sockeye, juvénile	TL 50		AWQC, 1983
0,903 ($HgCl_2$)	24	Truite arc-en-ciel, juvénile	TL 50		AWQC, 1983
0,500 ($HgCl_2$)	10 j	Gambusie	TL 50		AWQC, 1983
0,013 ($HgCl_2$)	24	Guppy	TL 50		AWQC, 1983
0,010 Hg	21 j	Achigan à grande bouche	Seuil d'effet, rythme operculaire		AWQC, 1983
0,500 (CH_3HgCl)	< 24	Gambusie	TL 50		AWQC, 1983
0,0085 ($HgSO_4$)	2 j	Saumon rose, (stade de formation des yeux)	TL 100		AWQC, 1983
0,0093 ($HgSO_4$)	2 j	Saumon sockeye, (stade de formation des yeux)	TL 100		AWQC, 1983
0,0052 ($HgSO_4$)	2 j	Embryon de saumon rose	TE 32 à TE 81 difformité		AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,0043 ($HgSO_4$)	2 j	Embryon de saumon sockeye	TE 45,6 difformité		AWQC, 1983
0,074 ($HgCl_2$)	2	Truite arc-en-ciel, juvénile	Altération du fonctionnement du bulbe olfactif		AWQC, 1983
0,0002 ($HgCl_2$)	80 mn	Truite arc-en-ciel	Seuil d'évitement		AWQC, 1983
0,00012 à 0,00024 ($HgCl_2$)	5, 18 mois	Truite arc-en-ciel	Forte mortalité		AWQC, 1983
3,000 ($HgCl_2$)	60 à 72	Embryon de carpe commune	Nombre réduit d'oeufs éclos		AWQC, 1983
0,008 (CH_3HgCl)	14 j	Truite arc-en-ciel, juvénile	~ TL 80		AWQC, 1983
48 mg/kg dans la nourriture	120 j	Truite arc-en-ciel	Perte de l'appétit	CH_3HgCl^+ Hg inorganique	AWQC, 1983
48 mg/kg dans la nourriture	269 j	Truite arc-en-ciel	Atteinte des fonctions nerveuses	CH_3HgCl^+ Hg inorganique	AWQC, 1983
1,000 (CH_3HgCl)	30 mn	Truite arc-en-ciel	TE 50	Mobilité réduite du sperme	AWQC, 1983
0,0007 (CH_3HgCl)	Période d'incubation + 21 j	Alevin d'omble de fontaine	Ralentissement de la croissance		AWQC, 1983
0,00079 (CH_3HgCl)	30 j	Alevin d'omble de fontaine	Activité enzymatique accrue (GOT)		AWQC, 1983
0,00293 (CH_3HgCl)	14 j	Omble de fontaine, juvénile	Augmentation des chlorures plasmatiques		AWQC, 1983
> 0,003 (CH_3HgCl)	8 j	Omble de fontaine	Augmentation des secousses respiratoires		AWQC, 1983
7 µg/g dans la nourriture	8 j	Truite arc-en-ciel	La teneur a atteint 10,4 µg/g dans les tissus musculaires	CH_3HgCl^+ Hg inorganique	Jacobs, 1978. Dans EPA 600/J-79-073
1,02 µg/g dans la nourriture	8 j	Truite arc-en-ciel	La teneur a atteint 0,67 µg/g dans les tissus musculaires	CH_3HgCl^+ Hg inorganique	Jacobs, 1978. Dans EPA 600/J-79-073
0,050 ($HgCl_2$)	1 sem.	Truite arc-en-ciel	Hématocrite et osmolalité réduites		AWQC, 1983
8,000 ($HgCl_2$)	36 mn	Meunier noir, adulte	Lacticodéshydrogénase inhibée de 20 p. 100		AWQC, 1983
10,000 ($HgCl_2$)	46 mn	Meunier noir, adulte	Transaminase glutamique oxaloacétique inhibée de 20 p. 100		AWQC, 1983
0,0003 ($HgCl_2$)	10 j	Embryon, larve de barbue de rivière	TE 50, décès et difformité		AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultats	Caractéristiques de l'eau	Source
0,0887 ($HgCl_2$)	7 à 8 j	Embryon, larve de crapet arlequin	TE 50, décès et difformité		AWQC, 1983
0,1372 ($HgCl_2$)	7 à 8 j	Embryon, larve de crapet *Lapomis microlophus*	TE 50, décès et difformité		AWQC, 1983
0,0053 ($HgCl_2$)	8 j	Embryon, larve d'achigan à grande bouche	TE 50, décès et difformité		AWQC, 1983
0,010	24	Achigan à grande bouche	Effet sur le rythme operculaire		AWQC, 1983
0,310 ($Hg(NO_3)_2$)	35 j	Cichlidé du Mozambique	Symptômes cliniques		AWQC, 1983
0,005 (CH_3HgCl)	1 sem.	Truite arc-en-ciel	Hématocrite et osmolalité réduites		AWQC, 1983
0,00088 (CH_3HgCl)	16 à 17 j	Embryon d'omble de fontaine	Activité enzymatique (GOT) réduite		AWQC, 1983
27 µg/l ($HgCl_2$)	Non précisé	Omble de fontaine, embryon	Importante diminution des activités de reproduction		QCW, 1976
0,04 µg/l (CH_3HgCl)	Non précisé	Omble de fontaine, embryon	Importante diminution des activités de reproduction		QCW, 1976
43-100 µg/l		Cyprinodontidé	La teneur en CH_3Hg^+ était inférieure à 40 µg/g dans les tissus	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978
< 1000 µg/l		Cyprinodontidé	Accumulation régulière de CH_3Hg^+ jusqu'à une teneur de 408,1 µg/g	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978
8,5 et 42,9 µg/l	Tous les deux jours au cours de la période de ponte	Cyprinodontidé	Inhibition de la ponte seulement les jours d'exposition	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978
85 µg/l	Tous les deux jours au cours de la période de ponte	Cyprinodontidé	Inhibition complète de la ponte	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978
4,3, 10,7 et 21,5 µg/l	6 sem.	Cyprinodontidé	Inhibition du frai; les gonades des mâles et des femelles ont diminué de grosseur; les femelles étaient plus vulnérables; l'éclosion des oeufs n'a pas été affectée	Sous forme de CH_3Hg^+	Chan, 1978

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
40 µg/l	20 j	Jeunes et oeufs de cyprinodontidé	Sept oeufs ont éclos; les jeunes nageaient de façon désordonnée (effets neurologiques)	Sous forme de CH_3Hg^+	Dial, 1978
60 µg/l	20 j	Jeunes et oeufs de cyprinodontidé	Un oeuf a éclos; mouvements très peu coordonnés observés chez les jeunes	Sous forme de CH_3HgCl	Dial, 1978
80 µg/l	20 j	Oeufs de cyprinodontidé	Aucun oeuf n'a éclos	Sous forme de CH_3HgCl	Dial, 1978
80 µg/l	25 j	Oeufs de cyprinodontidé	Aucun oeuf n'a éclos	Sous forme de CH_3HgCl	Dial, 1978
40 à 80 µg/l	10-25 j	Oeufs de cyprinodontidé	Les dommages aux oeufs augmentaient proportionnellement à la teneur en CH_3HgCl	Sous forme de CH_3HgCl	Dial, 1978
9 µg/l		Gourami bleu (*Trichogaster trichopterus*)	Affaiblissement de la réaction immunitaire à la nécrose pancréatique infectieuse et à *Proteus vulgaris*	Sous forme de CH_3HgCl	Roales, 1977
3	Après 5 j	*Anabas scandens* (35 spécimens)	Semblaient léthargiques	Sous forme de $Hg(NO_3)_2$	Panigrahi, 1978
3	Après 8 j	*Anabas scandens*	Retour à l'activité notée avant l'essai; alimentation normale	Sous forme de $Hg(NO_3)_2$	Panigrahi, 1978
3	Après 20 j	*Anabas scandens*	Cécité et exophthalmie signalées chez 10 poissons	Sous forme de $Hg(NO_3)_2$	Panigrahi, 1978
3	Après 28 j	*Anabas scandens*	Mêmes effets que ci-dessus chez 10 autres poissons; les 35 poissons ont survécu mais tous montraient une variété de troubles pathologiques et biochimiques, y compris la cécité chez 71 p. 100	Sous forme de $Hg(NO_3)_2$	Panigrahi, 1978
3	Après 36 j	*Anabas scandens*	Anomalies chez 24 poissons; l'autopsie a indiqué que par rapport aux témoins, le foie était congestionné, pâle, plus mou et plus petit, et que	Sous forme de $Hg(NO_3)_2$	Panigrahi, 1978

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
			la numération érythrocytaire et la teneur en protéines étaient moindres; le pourcentage d'hémoglobine totale était inférieur		
3	Après 45 j	*Anabas scandens*	La teneur en Hg résiduaire atteignait 2,8 ± 0,18 µg/g en poids vif, pour les muscles et 3,0 ± 0,16 µg/g en poids vif, pour le foie	Sous forme de $Hg(NO_3)_2$	Panigrahi, 1978
0,25	1 j	Poisson doré	Effets sublétaux; accumulation rapide de mercure (jusqu'à 0,1 ppm); aux teneurs élevées, abondantes sécrétions muqueuses et concentration importante du mercure dans les sécrétions. À la teneur de 0,25 ppm, 15 ppm de mercure dans les tissus après 1 j et 40 à 50 ppm après 100 h	Sous forme de $HgCl_2$	WQC, 1973
0,82	7 j	Poisson doré	TLm	Sous forme de $HgCl_2$	WQC, 1973
2,9 µg/l	6 mois	Omble de fontaine, jeune de 1 an	Symptômes de toxicité manifestes	CH_3HgCl	QCW, 1976
0,93 µg/l	Tiré d'une étude sur 3 ans	Omble de fontaine	Le frai a eu lieu à toutes les teneurs inférieures, mais les alevins dont les parents avaient été exposés à une teneur de 0,93 µg/l ont montré un ralentissement de croissance 90 jours après l'éclosion	CH_3HgCl	QCW, 1976
0,93 µg/l	24 mois	Omble de fontaine	Modifications du comportement chez les poissons de 2^e génération	CH_3HgCl	QCW, 1976

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
			ils ne fraient pas; taux de mortalité de 94 p. 100		
0,29 µg/l	Étude complète	Omble de fontaine	Aucun effet néfaste observé	CH_3HgCl	QCW, 1976
0,0001 *N*	50 mn	Épinoche à 3 épines	Rythme et pourcentage operculaires normaux; baisse de la consommation d'O_2 tout au long de l'essai; retour à la normale une fois le sujet placé en eau douce	$HgCl_2$	Jones, 1969
			B. Toxicité pour les invertébrés		
Non spécifié	96	Lombrics	Forte tolérance; TL 50	pH 6 et 8 20 °C; Fraser, C.-B.	Chapman, 1982
0,1 (désigné comme étant du mercure)	Durée non précisée	Têtards (*Bufo valliceps*)	Létal		WQC, 1971
1,000 ($Hg(NO_3)_2$)	96	Lombric	TL 50[1,2*]	S, M[3*]	AWQC, 1983
0,080 ($Hg(NO_3)_2$)	96	Escargot, adulte (*Amnicola* sp.)	TL 50[1,2*]	S, M	AWQC, 1983
0,370 ($HgCl_2$)	96	Escargot, (*Aplexa hypnorum*)	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
2,100 ($Hg(NO_3)_2$)	96	Escargot, embryon (*Amnicola* sp.)	TL 50		AWQC, 1983
0,740 ($HgCl_2$)	96	Écrevisse, adulte (*Orconectes limosus*)	TL 60		AWQC, 1983
0,002 ($HgCl_2$)	30 j	Écrevisse, juvénile (*Orconectes limosus*)	TL 50 (à jeun)		AWQC, 1983
< 0,002 ($HgCl_2$)	30 j	Écrevisse, juvénile (*Orconectes limosus*)	TL 50 (nourri)		AWQC, 1983
0,200 ($HgCl_2$)	72	Écrevisse, mâle, âges variés (*Procanbarus clarki*)	TL 50		AWQC, 1983
0,010 ($Hg(NO_3)_2$)	96	Gammare	TL 50[1,2*]	S, M	AWQC, 1983
0,020 ($HgCl_2$)	96	Écrevisse, mâle, âges variés (*Faxonella clypeatus*)	TL 50[1,2*]	D, M	AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,050 ($HgCl_2$)	96	Écrevisse (*Orconectes limosus*)	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,200 ($HgCl_2$)	72	Écrevisse, mâle, âges variés (*Faxonella clypeatus*)	TL 50		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	24	Écrevisse (0,2 g) (*Faxonella clypeatus*)	TL 50		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	672	Écrevisse (1,2 g) (*Faxonella clypeatus*)	TL 50		AWQC, 1983
		C. Toxicité pour les micro-organismes			
0,7834 ($HgCl_2$)	96	Rotifère	TL 50[1,2*]		AWQC, 1983
0,002442 ($HgCl_2$)	96	Puce d'eau	TL 50[1,2*]	S, NM[3]	AWQC, 1983
0,002217 ($HgCl_2$)	96	Zooplancton	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,013 ($HgCl_2$)	24	Puce d'eau	TL 50		AWQC, 1983
0,030 ($HgCl_2$)	48	Puce d'eau	TE 50		AWQC, 1983
0,200 ($HgCl_2$)		Bactérie (*Escherichia coli*)	Début d'inhibition		AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	16	Bactérie (*Pseudomonas putida*)	Début d'inhibition		AWQC, 1983
0,018 ($HgCl_2$)	72	Protozoaire (*Entosiphon sulcatum*)	Début d'inhibition		AWQC, 1983
0,015 ($HgCl_2$)	48	Protozoaire (*Chilomonas paramecium*)	Début d'inhibition		AWQC, 1983
0,067 ($HgCl_2$)	20	Protozoaire (*Uronema pardeuzl*)	Début d'inhibition		AWQC, 1983
0,001; 0,05	Non précisé	Protozoaire (*Microragma heterostoma*)	Début d'inhibition		AWQC, 1983
0,03	Non précisé	Plancton	Croissance diminuée de moitié; croissance arrêtée		MHSSW, 1976
0,03	Non précisé	Puce d'eau	Seuil		Warnick, 1969
0,01 à 0,03	Non précisé	Micro-organismes	Létal		Shaw, 1967

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,1 (désigné comme étant du mercure)	Non précisé	Puce d'eau	Létal		WQC, 1971
< 0,006	64	Puce d'eau	Seuil d'immobilisation		WQC, 1971

REMARQUE: Pour les données extraites de *Ambient Water Quality Criteria for Mercury* (AWQC, 1983), les résultats sont exprimés en mercure élémentaire et non sous forme du composé du mercure mentionné.

6.2.2.2 Toxicité en eau salée

A. Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,008	240	Espèce marine	Létal		Wilber, 1969
0,1 (CH_3HgCl)	48	Muge juvénile	Létal (eau de mer diluée, salinité de 9 p. 1000)		Weis, 1978
0,098 ($HgCl_2$)	96	Aiglefin, larve	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,4530 ($HgCl_2$)	96	Barbeau, adulte	TL 50^{2*}	S, NM	AWQC, 1983
0,1157 ($HgCl_2$)	96	Capucette, larve, juvénile	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,315 ($HgCl_2$)	96	Épinoche à 4 épines, adulte	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
1,678 ($HgCl_2$)	96	Plie rouge, larve	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,918 ($HgCl_2$)	96	Embryon d'aiglefin	TL 50		AWQC, 1983
0,100 ($HgCl_2$)	168	Barbeau adulte	TL 50		AWQC, 1983
0,800 ($HgCl_2$)	168	Barbeau adulte	TL 50		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	168	Barbeau adulte	TL 100		AWQC, 1983
2,000 ($HgCl_2$)	48	Barbeau adulte	TL 100		AWQC, 1983
0,125 ($HgCl_2$)	24	Barbeau adulte	Osmorégulation interrompue		AWQC, 1983
0,012 ($HgCl_2$)	28 j	Barbeau adulte	Jusqu'à 40 p. 100 de réduction de l'activité enzymatique avant que le sujet ait récupéré		AWQC, 1983
0,030 à 0,040 ($HgCl_2$)	3 j	Barbeau, embryon	Nombreuses anomalies congénitales		AWQC, 1983

* Voir notes explicatives à la p. 44.

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,010 à 0,20 ($HgCl_2$)	3 j	Barbeau, embryon	Nombreuses anomalies congénitales		AWQC, 1983
0,030 à 0,040 ($HgCl_2$)	12	Barbeau, embryon	Quelques anomalies congénitales		AWQC, 1983
0,0674 ($HgCl_2$)	32 j	Barbeau, embryon	TE 50		AWQC, 1983
0,250 à 5,000 ($HgCl_2$)	96	Barbeau, adulte	Dégénération cellulaire		AWQC, 1983
1,150 ($HgCl_2$)	96	Barbeau, adulte	Léthargie, nage non coordonnée		AWQC, 1983
33,900 ($HgCl_2$)	–	Perche-méné	Diminution de 45 p. 100 de l'activité cholinestérasique cérébrale		AWQC, 1983
0,005 ($HgCl_2$)	30 j	Bar rayé, adulte	Ralentissement de la respiration 30 jours après l'exposition		AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	60 j	Plie rouge, adulte	Ralentissement de la respiration		AWQC, 1983
0,125 (CH_3HgCl)	24	Barbeau, adulte	Osmorégulation interrompue		AWQC, 1983
Non précisé	Non précisé	Saumon chinook	Hg concentré dans le foie et les reins		
Non précisé	Non précisé	Globicéphale	Intoxication par les métaux lourds; concentré de 3 à 4 fois dans les tissus des baleines échouées		Stoneburner, 1978
0,8	96	Poisson	TL 50	20 °C salinité de 2 p. 1000 (sous forme de $HgCl_2$)	Eisler, 1977
$3,2 \times 10^{-6}$ mg	1	Anguille du Japon	Accumulation dans les reins; dose-effet chronique		WQC, 1972
0,6 µg/g	Non précisé	Morue	Concentré jusqu'à 3668 fois dans les branchies		WQC, 1972
0,30 µg/g	8 j	Brochet	Concentré jusqu'à 87 fois dans les muscles en 8 jours		WQC, 1972
3,3	48	Plie canadienne	TL 50, eau aérée		Portman, 1970
0,29	48	Espèce marine	TLm		Wilber, 1969
< 0,003	Non précisé	Oeufs de saumon	Grave difformité		WQC, 1972

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,01 (CH_3HgCl)	4, 7, 10, 13 j	Muge, juvénile	Régénération de la nageoire caudale considérablement retardée en tout temps	Eau de mer diluée, salinité de 9 p. 1000	Weis, 1978
0,001 (CH_3HgCl)	4, 7, 10, 13 j	Muge, juvénile	Régénération importante de la nageoire caudale observée seulement lors de l'essai le plus prolongé	Eau de mer diluée, salinité de 9 p. 1000	Weis, 1978
		B. Toxicité pour les invertébrés			
0,09798 ($HgCl_2$)	96	Polychète, adulte, juvénile	TL $50^{1,2*}$	S, NM*	AWQC, 1983
0,070 ($HgCl_2$)	96	Arénicole, adulte	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,014 ($HgCl_2$)	96	Larves de polychètes	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,0058 ($HgCl_2$)	96	Moule bleue	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,089 ($HgCl_2$)	96	Pétoncle de baie, juvénile	TL $50^{1,2}$	S, NM	AWQC, 1983
0,005944 ($HgCl_2$, $Hg(NO_3)_2$)	96	Pélécypode	TL $50^{1,2*}$	S, NM*	AWQC, 1983
0,007558 ($HgCl_2$)	96	Huître de l'est	TL $50^{1,2*}$	S, NM*	AWQC, 1983
0,08412 ($HgCl_2$)	96	Palourde des eaux noirâtres, adulte	TL $50^{1,2*}$	S, M	AWQC, 1983
0,0048 ($HgCl_2$)	96	Palourde	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,400 ($HgCl_2$)	96	Mye, adulte	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,079 ($HgCl_2$)	96	Copépode (*Pseudodiaptomus coronatus*)	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,158 ($HgCl_2$)	96	Copépode (*Emrytemora affinis*)	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	96	Copépode (*Acartia clausi*)	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,01432 ($HgCl_2$)	96	Copépode (*Acartia tonsa*)	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,230 ($HgCl_2$)	96	Copépode (*Nitocra spinipes*)	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983
0,0035 ($HgCl_2$)	96	Mysis	TL $50^{1,2*}$	D, M	AWQC, 1983
0,017 ($HgCl_2$)	96	Crevette américaine, adulte	TL $50^{1,2*}$	S, NM	AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,020 ($HgCl_2$)	96	Homard d'Amérique, adulte	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,050 ($HgCl_2$)	96	Bernard-l'hermite adulte	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,0074 ($HgCl_2$)	96	Larve de crabe dormeur	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,0074 ($HgCl_2$)	96	Larve de crabe dormeur	TL 50[1,2*]	S, M	AWQC, 1983
0,014 ($HgCl_2$)	96	Larve de crabe vert	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,060 ($HgCl_2$)	96	Étoile de mer, adulte	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,150 (CH_3HgCl)	96	Amphipode, adulte	TL 50[1,2*]	S, NM	AWQC, 1983
0,060 ($HgCl_2$)	168	Arénicole, adulte	TL 50		AWQC, 1983
0,125 ($HgCl_2$)	168	Arénicole, adulte	TL 100		AWQC, 1983
0,050 ($HgCl_2$)	96	Polychètes, adultes	TL 13		AWQC, 1983
0,0025 à 0,005 ($HgCl_2$)	12	Protozoaire (*Cristifera* sp.)	Croissance ralentie		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	48	Protozoaire (*Euplotes vannus*)	Inhibition de la reproduction		AWQC, 1983
0,100 ($HgCl_2$)	96	Polychètes, adultes	TL 60		AWQC, 1983
0,500 ($HgCl_2$)	96	Polychètes, adultes	TL 100		AWQC, 1983
0,032 ($HgCl_2$)	24	Larve de moule bleue	Développement anormal		AWQC, 1983
0,032 ($HgCl_2$)	24	Larve de pélécypode	Développement anormal		AWQC, 1983
0,012 ($HgCl_2$)	12 j	Huître de l'est, embryon	TL 50		AWQC, 1983
0,001 ($HgCl_2$)	48	Huître de l'est, embryon	TL 0		AWQC, 1983
0,050 ($HgCl_2$)	19 j	Huître de l'est, embryon	Troubles provoqués par des métaux en traces		AWQC, 1983
0,014 ($HgCl_2$)	8-10 j	Larve de palourde	TL 50		AWQC, 1983
0,0025 ($HgCl_2$)	42-48	Larve de palourde	TL 0		AWQC, 1983
0,001 ($HgCl_2$)	168	Mye, adulte	TL 0		AWQC, 1983
0,004 ($HgCl_2$)	168	Mye, adulte	TL 50		AWQC, 1983
0,030 ($HgCl_2$)	168	Mye, adulte	TL 100		AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,050 ($HgCl_2$)	1,9	Copépode, adulte (*Acartia clausi*)	TL 50		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	48	Balane, adulte (*Balanus balanoidas*)	TL 90		AWQC, 1983
0,090 ($HgCl_2$)	6	Balane, adulte (*Balanus balanoidas*)	TL 90		AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	6	Balane, cypris (*Balanus balanoidas*)	Réduction de la fixation à un substrat chez environ 10 p. 100 des sujets après 19 jours		AWQC, 1983
0,060 ($HgCl_2$)	6	Balane nauplius (*Balanus crenatus*)	TL 50		AWQC, 1983
16,600 ($HgCl_2$)	48	Balane, cypris (*Balanus improvisus*)	Développement anormal chez environ 50 p. 100		AWQC, 1983
0,001 ($HgCl_2$)	60 j	Crevette américaine, adulte	Aucun effet sur la respiration, la croissance ni sur la mue		AWQC, 1983
0,056 ($HgCl_2$)	< 24	Larve de crevette	TL 100		AWQC, 1983
< 0,0056 ($HgCl_2$)	48	Larve de crevette	TL 0		AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	48	Larve de crevette	TL 50		AWQC, 1983
0,010 à 0,018 ($HgCl_2$)	48	Larve de crevette	Développement anormal		AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	168	Bernard-l'hermite, adulte	TL 0		AWQC, 1983
0,050 ($HgCl_2$)	168	Bernard l'hermite, adulte	TL 50		AWQC, 1983
0,125 ($HgCl_2$)	168	Bernard-l'hermite, adulte	TL 100		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	48	Crabe vert, adulte	TL 50		AWQC, 1983
1,200 ($HgCl_2$)	48	Crabe vert, adulte	TL 50		AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	47	Larve de crabe vert	TL 50		AWQC, 1983
0,033 ($HgCl_2$)	20 à 30	Larve de crabe vert	TL 50		AWQC, 1983
0,100 ($HgCl_2$)	4,3 à 13,5	Larve de crabe vert	TL 50		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	2,7	Larve de crabe vert	TL 50		AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
3,300 ($HgCl_2$)	0,5	Larve de crabe vert	TL 50		AWQC, 1983
10,000 ($HgCl_2$)	0,22	Larve de crabe vert	TL 50		AWQC, 1983
0,0018 ($HgCl_2$)	8 j	Crabe appelant, zoé	TL 50		AWQC, 1983
0,0018 ($HgCl_2$)	24	Crabe appelant, zoé	20 à 100 p. 100 d'augmentation du taux métabolique après la première zoé		AWQC, 1983
0,0018 ($HgCl_2$)	5 j	Crabe appelant, zoé	Accélération de la locomotion (environ 40 p. 100) à la 5^e zoé		AWQC, 1983
1,000 ($HgCl_2$)	28 j	Crabe appelant, zoé	Faible taux de survie, inhibition de la régénération des membres		AWQC, 1983
0,180 ($HgCl_2$)	6 j	Crabe appelant, adulte	20 à 25 p. 100 de réduction dans le pourcentage de survie		AWQC, 1983
0,180 ($HgCl_2$)	24	Crabe appelant, adulte	Consommation accrue de O_2		AWQC, 1983
0,010 ($HgCl_2$)	168	Étoile de mer, adulte	TL 0		AWQC, 1983
0,020 ($HgCl_2$)	168	Étoile de mer, adulte	TL 50		AWQC, 1983
0,125 ($HgCl_2$)	168	Étoile de mer, adulte	TL 100		AWQC, 1983
0,020 ($HgCl_2$)	8 mn	Oursin, spermatozoïde	Vitesse de locomotion augmentée d'environ 150 p. 100		AWQC, 1983
2,000 ($HgCl_2$)	24 mn	Oursin, spermatozoïde	Vitesse de locomotion diminuée d'environ 80 p. 100		AWQC, 1983
0,092 ($HgCl_2$)	13	Embryon d'oursin	Développement anormal		AWQC, 1983
0,400 (CH_3HgCl)	24	Moule bleue, adulte	Taux d'alimentation réduit d'environ 90 p. 100		AWQC, 1983
0,050 (CH_3HgCl)	19 j	Huître de l'est, adulte	Troubles causés par les métaux en traces		AWQC, 1983
0,056 (CH_3HgCl)	3 j	Amphipode, adulte	Diurèse provoquée		AWQC, 1983
0,300 à 0,500 (CH_3HgCl)	32 j	Crabe appelant, adulte	Aucune régénération des membres		AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,100 (CH_3HgCl)	32 j	Crabe appelant, adulte	Absence de mélanine dans les membres régénérés		AWQC, 1983
0,005 ($HgCl_2$)	70 j	Copépode, adulte (*Pseudocalanus minutus*)	Aucune croissance dans les cultures		AWQC, 1983
0,001 ($HgCl_2$)	70 j	Copépode, adulte (*Pseudocalanus minutus*)	Aucune inhibition de croissance		AWQC, 1983
0,078	24	Crustacé	TL 50	Eau de la mer Rouge, 22 °C salinité de 36 p. 1000	Hilmy, 1981
0,23	96	Moules	TL 50	Eau de la mer Rouge, 22 °C salinité de 36 p. 1000	Hilmy, 1981
0,122 ($HgCl_2$)	96	Pélécypode, adulte	TL 50	Salinité de 2 p. 1000	Dillon, 1977
0,027	Non précisé	Larves de bivalves	TL 50		WQC, 1972
Non précisé	96	Lombric	Létal	pH 6 et 8, 10 ppt de salinité	Chapman, 1982
0,075 ($HgCl_2$)	48	Salicoque	TL 50	Aérée	Portman, 1970
5,7 ($HgCl_2$)	48	Crevette	TL 50	Aérée	Portman, 1970
9 ($HgCl_2$)	48	Coque	TL 50	Aérée	Portman, 1970
1,2 ($HgCl_2$)	48	Crabe vert, adulte	TL 50	Aérée	Portman, 1970
4,2 ($HgCl_2$)	48	Huître	TL 50	Aérée	Portman, 1970
0,005	Non précisé	Oeufs d'oursin	Développement retardé		Wilber, 1969
0,01	Non précisé	Oursin	Grave perturbation		OHM-TADS, 1981
1,0 (sous forme de $HgCl_2$)	48	Balane, adulte	Létal pour 90 p. 100 des sujets		WQC, 1971
0,1 à 0,33 ($HgCl_2$)	96	Crevette grise (*Crangon crangon*)	TLm		WQC, 1973
0,08 ($HgCl_2$)	48	*Dandalus mantanni*	TLm		WQC, 1973
0,01 (CH_3HgCl)	14 j	Fondule barré, adulte	Régénération de la nageoire caudale quelque peu retardée (eau de mer, salinité de 36 p. 1000)		Weis, 1978

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,05 (CH_3HgCl)	14 j	Fondule barré, adulte	Régénération de la nageoire caudale considérablement retardée (eau de mer, salinité de 36 p. 1000		Weis, 1978
2,8 (sous forme de $HgCl_2$)	1 j	*Ambassis safgha*	TLm		WQC, 1973
13,1 ($HgCl_2$)	2	Larve de moule	TLm	Bio-essai en laboratoire	WQC, 1973
1809 ($HgCl_2$)	2	Larves d'artémia	TLm	Bio-essai en laboratoire	WQC, 1973
180,9 ($HgCl_2$)	2	*Crassostrea commercialis*, larves	TLm	Bio-essai en laboratoire	WQC, 1973
0,1 ($HgCl_2$)	2	*Watersipora cuculiate*, larves	TLm	Bio-essai en laboratoire	WQC, 1973
0,2 ($HgCl_2$)	2	*Bugula neritina*, larves	TLm	Bio-essai en laboratoire	WQC, 1973
0,14 ($HgCl_2$)	2	*Spirorbis lamellosa*, larves	TLm	Bio-essai en laboratoire	WQC, 1973
0,12 ($HgCl_2$)	2	*Galeolaria caespitosa*, larves	TLm	Bio-essai en laboratoire	WQC, 1973
3,3 ($HgCl_2$)	48	*Platicthys flesus*	TLm	Bio-essai statique	WQC, 1973

1 = ou TE 50 (teneur efficace moyenne);
2 = Valeur aiguë moyenne pour l'espèce;
3 = S = épreuve biologique en conditions statiques;
SS = épreuve biologique en conditions semi-statiques;
D = épreuve biologique en conditions dynamiques (à écoulement continu); M = teneur mesurée;
NM = teneur non mesurée; BE = bio-essai.

6.2.2.3 Toxicité chronique du mercure pour les espèces aquatiques

Espèces	Durée et genre d'essai[1]*	Composé chimique	Limites[2] (µg/l)	Valeur chronique[2] (µg/l)	Source
Eau douce					
Puce d'eau	CV[3]	$HgCl_2$	0,72-1,28	0,96	AWQC, 1983
Puce d'eau	CV[4]	$HgCl_2$	0,91-1,82	1,287	AWQC, 1983
Tête-de-boule	CV	$HgCl_2$	$<0,26$[5]	$<0,26$	AWQC, 1983
Tête-de-boule	PSV[1]	$HgCl_2$	$<0,23$[5]	$<0,23$	AWQC, 1983

* Voir notes explicatives à la p. 45.

Espèces	Durée et genre d'essai[1]	Composé chimique	Limites[2] (µg/l)	Valeur chronique[2] (µg/l)	Source
Puce d'eau	CV[3]	CH_3HgCl	< 0,04[5]	< 0,04	AWQC, 1983
Puce d'eau	CV[4]	CH_3HgCl	0,52-0,87	0,6726	AWQC, 1983
Omble de fontaine	CV	CH_3HgCl	0,29-0,93	0,5193	AWQC, 1983
Eau salée					
Mysidacé	CV	$HgCl_2$	0,8-1,6	1,131	AWQC, 1983

1. CV = cycle de vie complet ou partiel; PSV = premier stade de la vie.
2. Les résultats sont exprimés sous forme de mercure, non comme produits chimiques.
3. Essai dynamique (à écoulement continu).
4. Essai semi-statique (bain renouvelé).
5. Effets nocifs enregistrés pour toutes les teneurs.

6.2.2.4 Toxicité pour les plantes aquatiques

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Source
Espèces dulçaquicoles				
1030 ($HgCl_2$)	33 j	Algue (*Chlorella vulgaris*)	TE 50, inhibition de la division des cellules	AWQC, 1983
5 ($HgCl_2$)	8 j	Algue bleue (*Microcystis aeruginosa*)	Début d'inhibition	AWQC, 1983
70 ($HgCl_2$)	8 j	Algue verte (*Scenedesmus quadricauda*)	Début d'inhibition	AWQC, 1983
1,200 ($HgCl_2$)	32 j	Volant d'eau (*Myriophyllum spicatum*)	TE 50, inhibition de la pousse des racines	AWQC, 1983
1598 (CH_3HgCl)	168 à 240	Algue (*Ankistrodesmus braunil*)	TE 50, biosynthèse des lipides	AWQC, 1983
> 2,4 < 4,8 (CH_3HgCl)	168 à 240	Algue (*Coelastrum microparum*)	TE 50, inhibition de la croissance	AWQC, 1983
0,1* mg/l	40	Champignon (*Aspergillus niger*)	DL 50	Brummond, 1971
0,080 ($HgCl_2$)	2	Algue, diatomées surtout (récolte printanière)	TE 50, photosynthèse réduite	AWQC, 1983
2,590 $HgCl_2$)	168 à 240	Algue (*Ankistrodesmus braunil*)	TE 50, biosynthèse des lipides inhibée	AWQC, 1983
0,030 ($HgCl_2$)	96	Algues vertes (*Scenedesmus quadricauda*)	Début d'inhibition	AWQC, 1983
Espèces des eaux salées				
100 ($HgCl_2$)	10 j	Fucus (*Ascophylolum nodosum*)	TE 50, croissance	AWQC, 1983
10 ($HgCl_2$)	5 j	Diatomées (*Ditylum brightweilil*)	TE 50, croissance	AWQC, 1983
160 ($HgCl_2$)	10 j	Fucus (*Fucus serratus*)	TE 50, croissance	AWQC, 1983
80 ($HgCl_2$)	10 j	Fucus (*Fucus spiralis*)	TE 50, croissance	AWQC, 1983
45 ($HgCl_2$)	10 j	Fucus (*Fucus vesiculosus*)	TE 50, croissance	AWQC, 1983
50 ($HgCl_2$)	4 j	Varech géant (*Macrocystis pyrifera*)	TE 50, croissance	AWQC, 1983

* Le composé chimique utilisé ou la méthode utilisée pour calculer la teneur à l'état de Hg, ne sont pas connus.

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Source
130 ($HgCl_2$)	10 j	Herbe marine (*Pelvetia canaliculata*)	TE 50, croissance	AWQC, 1983
5000 ($HgCl_2$)	30 mn	Algue rouge (*Antithamnion plumula*)	TL 50 après 7 j	AWQC, 1983
10 ($HgCl_2$)	4 j	Algue (*Chaetoceros glavestonensis*)	Croissance réduite d'environ 30 p. 100	AWQC, 1983
100 ($HgCl_2$)	4 j	Algue (*Chaetoceros galvestonensis*)	Aucune croissance de la culture	AWQC, 1983
100 ($HgCl_2$)	3 j	Algue (*Cyclotella* sp.)	Aucune croissance de la culture	AWQC, 1983
2500 ($HgCl_2$)	–	Algue (*Dunaliella* sp.)	Réduction de 75 p. 100 du CO_2	AWQC, 1983
100 ($HgCl_2$)	8 j	Algue (*Dunaliella tertiolecta*)	Augmentation d'environ 10 p. 100 de la teneur maximale en chlorophylle *a*	AWQC, 1983
220 ($HgCl_2$)	8 j	Algue (*Dunaliella tertiolecta*)	Augmentation d'environ 45 p. 100 de la teneur maximale en chlorophylle *a*	AWQC, 1983
10 ($HgCl_2$)	3 j	Algue (*Dunaliella tertiolecta*)	Croissance réduite d'environ 15 p. 100	AWQC, 1983
2 ($HgCl_2$)	8 j	Algue (*Dunaliella tertiolecta*)	Aucun effet sur la croissance	AWQC, 1983
5,1 ($HgCl_2$)	15 j	Algue (*Isochrysis galbana*)	Croissance réduite d'environ 10 p. 100	AWQC, 1983
10,5 ($HgCl_2$)	15 j	Algue (*Isochrysis galbana*)	Croissance réduite d'environ 60 p. 100	AWQC, 1983
10,5 ($HgCl_2$)	28 j	Algue (*Isochrysis galbana*)	Le taux de croissance est revenu à la normale après le 5^e jour	AWQC, 1983
10 ($HgCl_2$)	28 j	Zoospores, gamétophytes, sporophytes, de varech (*Laminaria hyberborea*)	La plus faible teneur entraînant une inhibition de la croissance	AWQC, 1983
~ 450 ($HgCl_2$)	22	Zoospores, gamétophytes, sporophytes, de varech (*Laminaria hyperborea*)	TE 50, respiration	AWQC, 1983
10 000 ($HgCl_2$)	28	Zoospores, gamétophytes, sporophytes, de varech (*Laminaria hyperborea*)	Respiration réduite d'environ 80 p. 100	AWQC, 1983
50 ($HgCl_2$)	4 j	Algue (*Phaeodactylum tricornutum*)	Croissance réduite d'environ 50 p. 100	AWQC, 1983
120 ($HgCl_2$)	4 j	Algue (*Phaeodactylum tricornutum*)	Aucune croissance de la culture	AWQC, 1983
120 ($HgCl_2$)	24	Algue rouge (*Plumaria elegans*), jeune spore	Croissance réduite de 40 p. 100 sur 21 jours	AWQC, 1983
1000 ($HgCl_2$)	1	Algue rouge (*Plumaria elegans*), jeunes spores	Croissance réduite de 40 p. 100 sur 21 jours*	AWQC, 1983
3170 ($HgCl_2$)	18	Algue rouge (*Plumaria elegans*), jeunes spores	TL 50 après 7 j	AWQC, 1983
6700 ($HgCl_2$)	30 mn	Algue rouge (*Plumaria elegans*), jeunes spores	TL 50 après 7 j*	AWQC, 1983
8000 ($HgCl_2$)	30 mn	Algue rouge (*Polysiphonia lanusa*)	TL 50 après 7 j*	AWQC, 1983

* Extrapolation.

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Source
10 ($HgCl_2$)	10 j	Goémon, 5 espèces (*Ascophyllum nodosum, Fucus spiralis, F. vesiculosus, F. serratus, Pelvetia canaliculata*)	Croissance réduite de 10 à 30 p. 100	AWQC, 1983
30 ($HgCl_2$)	96	Phytoplancton, assemblages naturels	Inhibition de la croissance	AWQC, 1983
~ 170 (CH_3HgCl)	10 mn	Algue (*Dunaliella tertiolecta*)	TE 50, photosynthèse	AWQC, 1983
~ 190 (CH_3HgCl)	25 j	Algue (*Phaeodactylum tricornutum*)	TE 50, photosynthèse	AWQC, 1983
44 ($HgCl_2$)	18	Algue rouge (*Plumaria elegans*), jeunes spores	TL 50 après 7 j*	AWQC, 1983
100 ($(CH_3)_2Hg$)	3 j	Algue (*Chaetoceros* sp.)	Croissance réduite d'environ 75 p. 100	AWQC, 1983
500 ($(CH_3)_2Hg$)	3 j	Algue (*Cyclotella* sp.)	Croissance réduite d'environ 15 p. 100	AWQC, 1983
500 ($(CH_3)_2Hg$)	3 j	Algue (*Phaeodactylum* sp.)	Croissance réduite d'environ 45 p. 100	AWQC, 1983
40 (CH_3HgCl)	25 mn	Algue rouge (*Plumaria elegans*), jeunes spores	TE 50 après 21 jours	AWQC, 1983

REMARQUE: Les résultats sont exprimés sous forme de mercure élémentaire et non sous forme du composé chimique mentionné.

6.2.3 Études sur le milieu aquatique (WHO, 1976; Rabenstein, 1978; Weis, 1978; Sharpe, 1977). – En ce qui a trait aux teneurs en mercure mesurées chez les poissons d'eau douce, on mentionne une limite maximale de 150 µg/kg (0,15 ppm) pour le Canada; c'est probablement une teneur naturelle pour les poissons vivant dans des eaux non polluées. Par contre, les poissons pêchés dans des eaux douces polluées peuvent renfermer entre 2000 à 5000 µg de mercure par kilogramme voire jusqu'à 20 000 µg/kg en milieu très pollué. La teneur en mercure chez les poissons de mer varie considérablement. Nous ne connaissons pas encore exactement tous les facteurs intervenant dans la bio-accumulation du mercure; nous croyons cependant que l'emplacement géographique, l'espèce, l'âge et le poids du poisson sont des facteurs importants. Les teneurs maximales en mercure se trouvent généralement dans les poissons situés en fin de réseau alimentaire.

La teneur en mercure chez la plupart des poissons océaniques varie de 0 à 500 µg/kg en poids humide, mais chez les poissons à longue durée de vie comme l'espadon, le thon et le flétan, les teneurs varient de 200 à 1500 µg/kg. Pour une espèce donnée, la région géographique semble jouer un rôle primordial. C'est ainsi que l'on a trouvé des valeurs allant de 12 à 36 µg/kg pour de la morue pêchée près du Groenland alors que pour la mer du Nord, les valeurs oscillaient entre 150 à 195 µg/kg en poids humide. Des morues pêchées dans des eaux fortement polluées entre le Danemark et la Suède renfermaient jusqu'à 1290 µg de mercure par kilo.

Le métabolisme semble jouer un certain rôle. On a en effet constaté chez différentes espèces de poissons benthopélagiques ayant des habitudes alimentaires et des besoins écologiques identiques, que la teneur en mercure variait bien qu'ils fussent tous exposés au même milieu pendant

une même période. Comme nous l'avons déjà mentionné, le poids corporel constitue un important facteur dans le cas des teneurs en mercure: plus le poids corporel est élevé, plus la teneur en mercure l'est également. Ce même rapport existe dans le cas des poissons d'eau douce.

Enfin, le sexe du poisson peut avoir une influence sur la teneur en mercure. Chez l'aiguillat commun (espèce des eaux salées) de poids corporel égal, la teneur en mercure était supérieure chez le mâle. On suppose que cette différence est due au fait que les mâles grossissent plus lentement que les femelles.

Les poissons accumulent le mercure principalement sous forme de méthylmercure (CH_3Hg^+). Des mesures faites en Suède et en Amérique du Nord ont confirmé que presque tout le mercure trouvé dans le poisson d'eau douce était sous forme de composés de méthylmercure. Cela s'applique également aux espadons et aux thons. Les poissons qui font exception sont le grenadier du Pacifique pêché au large des côtes d'Hawaii et la truite de lac. Dans le cas du premier, le méthylmercure ne compte que pour un faible pourcentage du mercure total, et pour la truite de lac, il ne représente que 21 à 35 p. 100 du mercure total.

En général, c'est sous forme de méthylmercure (CH_3Hg^+) que le poisson accumule le mercure dans ses tissus, quelle que soit la nature du polluant original. La présence de méthylmercure chez les poissons d'eau douce s'expliquerait par le cycle biogéochimique local du mercure, le diméthylmercure étant un intermédiaire-clé; mais on ne s'explique pas encore la présence de méthylmercure chez les poissons pêchés dans des océans. Il n'existe aucune preuve que la méthylation du mercure s'opère dans les tissus des poissons, on sait cependant qu'elle se produit dans le mucus qui recouvre la peau des poissons. Le méthylmercure comme on le sait, franchit aisément les membranes biologiques, ce qui expliquerait que c'est principalement sous cette forme que le mercure se retrouve chez les organismes du milieu aquatique et plus particulièrement les espèces d'eau douce. Nous ne connaissons pas très bien le processus de la méthylation en milieu marin. Il a été prouvé de manière irréfutable que le mercure rejeté dans les eaux sous forme organique ou minérale se transforme en méthylmercure très peu biodégradable, et la présence de méthylmercure chez le poisson résulterait d'une bio-amplification dans les diverses espèces des réseaux trophiques ainsi pollués. Ce produit est très mobile et a tendance à se concentrer dans les tissus musculaires ainsi que dans le foie et les reins, tandis que le mercure inorganique comme le chlorure mercurique est accumulé principalement dans les branchies. Le premier composé est un inhibiteur de la mitose et s'est avéré tératogène pour un bon nombre d'organismes.

Le méthylmercure (CH_3Hg^{++}) est l'une des formes les plus toxiques du mercure, et cause des lésions irréversibles au niveau du système nerveux central. La charge corporelle acceptable pour la plupart des espèces (y compris l'homme) dépend principalement de la quantité absorbée quotidiennement et du taux d'excrétion propre à l'espèce, sans compter les variations inter individus. D'après une équation théorique, plus la demi-vie biologique est longue, plus la charge corporelle pour une dose constante donnée est grande, et l'état d'équilibre est atteint après une période correspondant à environ cinq fois la demi-vie du méthylmercure. Par exemple, la demi-vie biologique du méthylmercure chez l'homme est estimée à 70 jours. En cas d'exposition constante, l'état d'équilibre sera donc atteint en 1 an environ. Comme, chez le poisson, la demi-vie du méthylmercure est longue on peut penser que ce composé s'accumule dans la chair des poissons tout au long de leur vie.

Bien que cette analyse des teneurs en mercure du poisson et de la toxicité du méthylmercure (CH_3Hg^{++}) ressorte du domaine de la toxicité chronique, nous avons cru bon d'aborder le sujet dans la présente publication. Advenant un déversement de mercure en milieu aquatique, on peut envisager la formation de composés de méthylmercure et l'installation d'un cycle local avec toutes les répercussions subséquentes sur la communauté aquatique voisine.

6.3 Toxicité pour d'autres espèces

6.3.1 Toxicité pour les mammifères. – Il a été prouvé que le phoque, mammifère marin situé au haut de la chaîne alimentaire marine, peut tolérer des teneurs élevées en mercure. Voici les données d'expériences faites avec le phoque du Groenland (SPE, 1979):

Teneur (mg/kg)	Durée (jours)	Résultat
0,25 (sous forme de CH_3HgCl, voie orale)	Quotidiennement pendant 60 jours	Les teneurs dans le sang n'étaient pas anormales
0,25 (sous forme de CH_3HgCl, voie orale)	Quotidiennement pendant 90 jours	Les teneurs dans le sang n'étaient pas anormales
25,0 (sous forme de CH_3HgCl, voie orale)	Quotidiennement pendant 20 jours	Dose létale le 20^e jour; la teneur dans le sang était de 26,8 ppm de Hg total (19,0 ppm à l'état de CH_3Hg); dans le foie, 134 ppm de Hg total (127 ppm à l'état de CH_3Hg); dans les muscles, 96,7 ppm de Hg total (91,5 ppm à l'état de CH_3Hg)
25,0 (sous forme de CH_3HgCl, voie orale)	Quotidiennement pendant 26 jours	Dose létale le 26^e jour; teneur dans le sang; 30,3 ppm de Hg total (23,7 ppm à l'état de CH_3Hg); dans le foie; 142 ppm de Hg total (125 ppm à l'état de CH_3Hg); dans les muscles; 125 ppm de Hg total (115 ppm à l'état de CH_3Hg)

On a trouvé que le méthylmercure pouvait franchir la barrière placentaire chez les phoques et qu'il était détectable chez les nouveau-nés. C'est sous la forme de méthylmercure surtout qu'on le retrouve dans les muscles des mammifères marins; il se concentre également souvent dans le foie et les reins (SPE, 1979), mais en quantités assez faibles. Le mercure est neurotoxique, tératogène et oncogène (PTP, 1980). Chez l'animal, les symptômes de l'intoxication aiguë sont une gastro-entérite aiguë suivie de stomatite et de néphrite aiguë, lorsque l'animal survit (Humphreys, 1978).

6.3.2 Toxicité pour l'avifaune (WQC, 1972; WHO, 1976; SPE, 1979; Stahl, 1969)

Teneur ($\mu g/m^3$)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Source
80	6 h/j, 20 semaines	Pigeons	Aucun changement histologique ou du comportement ni de signes marqués d'hydrargyrisme	Stahl, 1969
17 000	14 semaines	Pigeons	Changements importants du comportement	Stahl, 1969

Il ressort des expériences conduites avec des animaux que les effets du mercure inorganique sur les tissus sont généralement réversibles, sauf s'ils ont été provoqués par l'absorption de doses massives de composés mercuriels inorganiques ou qu'ils résultent d'une exposition prolongée à

des teneurs très élevées de vapeur de mercure élémentaire. Deux études considèrent que le mode d'administration du mercure organique ou inorganique ne joue aucun rôle, et que chez les animaux, le mercure organique est beaucoup plus toxique que la forme inorganique; il se concentre dans tout l'organisme, plus particulièrement dans les reins et le foie, et un peu moins dans le cerveau. Chez les oiseaux, c'est dans les plumes que l'on trouve les plus fortes teneurs. Forts de cette constatation, des chercheurs ont analysé la teneur en mercure des plumes de nombreuses espèces d'oiseaux conservées dans divers musées suédois depuis 1815. Ces analyses ont révélé une subite élévation de la teneur en mercure dans les plumes à partir de 1940, date à laquelle les fongicides à base d'alkylmercure furent introduits en Suède pour l'enrobage des graines. On a constaté une augmentation importante des teneurs en mercure chez les oiseaux de proie; l'accumulation chez les oiseaux ichtyophages est moins forte et chez ces derniers, on attribue la hausse de la teneur en mercure à la contamination accrue du milieu aquatique.

On a suggéré que le mercure disséminé dans l'environnement pourrait affecter la reproductivité d'oiseaux d'espèces placées au sommet des chaînes trophiques, comme les faucons. L'éclosion d'oeufs de goélands argentés dont la teneur en mercure variait de 2 à 16 ppm, n'a pas semblé entravée. Il s'agissait principalement de mercure sous forme méthylée. D'autres essais conduits avec des oiseaux dans un emplacement pollué par le mercure et un autre emplacement qui ne l'était pas indiquent par contre une diminution marquée de l'éclosion des oeufs à l'endroit pollué. Les données sont contradictoires et les résultats relatifs au rôle du mercure dans l'éclosion des oeufs d'oiseaux ne sont pas concluants. Les auteurs sont cependant d'avis que les oiseaux ichtyophages sont les espèces qui risquent le plus d'être touchées par suite de leur position dans la chaîne trophique.

Il existe un nombre considérable de données sur la teneur en mercure chez diverses espèces d'oiseaux. Ces données jettent la lumière sur ce problème, mais elles ne sont pas jugées essentielles dans le cadre de ce rapport. Le mercure est toxique pour certaines espèces d'oiseaux; toute pollution provenant d'un déversement accidentel ne ferait qu'aggraver ce problème de plus en plus important.

6.3.3 Toxicité pour les végétaux (Stahl, 1969). – Il est prouvé que la vapeur de mercure métallique est néfaste pour les végétaux. L'importance des dommages causés à une espèce donnée dépend principalement des facteurs qui influent sur la vaporisation du mercure, comme la source ponctuelle, la température, les mouvements d'air et la teneur initiale. On croit que la phytotoxicité des composés mercuriques est principalement due aux vapeurs de mercure provenant de la décomposition thermique ou de la réduction catalytique de ces composés en vapeurs métalliques. Cependant, il a été prouvé que les composés de méthylmercure perturbent la mitose des cellules végétales; les composés d'alkylmercure à courte chaîne sont connus pour causer des brèches des chromosomes dans les cellules végétales. Les lésions causées par les composés inorganiques et organiques du mercure ne peuvent être distinguées de celles causées par le mercure métallique. En général, le mercure n'endommage que les végétaux se trouvant dans un endroit confiné (serre, par exemple); on cite cependant des cas de graves dommages à des roses alors que la teneur de l'air en mercure était inférieure à 10 $\mu g/m^3$. Les dommages causés à certaines variétés de roses consistent généralement en brunissures ou en décoloration des feuilles, des pétales, des pédoncules et des corolles des jeunes boutons. Une exposition plus poussée accentue la décoloration et entraîne la chute des feuilles et des jeunes boutons. Les plantes endommagées sont récupérables si elles sont éloignées de la source de pollution. De plus, les végétaux ont tendance à accumuler de grandes quantités de mercure dans leurs feuilles et autres parties, parfois sans présenter trop de dommages apparents.

Les roses semblent particulièrement sensibles aux vapeurs de mercure métallique. Certaines expériences ont permis de démontrer que les dommages étaient causés par les vapeurs de mercure métallique provenant de la décomposition et de la réduction d'un composé du mercure bien précis. Neuf variétés de roses ainsi que la gourgane, l'asclépiale tubéreuse, l'oxalide et le tournesol se sont avérés particulièrement vulnérables. Au nombre des végétaux sensibles se trouvent le pêcher, le troène, le tomatier, le géranium et la fougère de Boston. L'aloès, le croton, le lierre anglais, le chêne et le pachysandre semblent assez résistants.

Des données recueillies indiquent également que certains végétaux sont endommagés lorsqu'ils sont exposés aux vapeurs de mercure provenant de la décomposition de peinture contenant des fongicides mercuriels. Il a été prouvé que l'un de ces fongicides, le DPMDS (succinate de diphénylmercure et de dodécényle) se décompose lentement à la température ambiante tout en émettant des vapeurs de mercure métallique. La plante mentionnée dans la plupart des expériences ou des incidents signalés était la rose.

6.3.4 Toxicité pour certains insectes, mammifères et batraciens

Teneur[1]* (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
1,200 ($Hg(NO_3)_2$)	96	Demoiselle (non ident.)	TL 50[2]*	S, M[3]*	AWQC, 1983
2,000 ($HgCl_2$)	96	Éphémère (*Ephemerella subvaria*)	TL 50	S, NM*	AWQC, 1983
2,000 ($HgCl_2$)	96	Perle (*Acroneuria lycarias*)	TL 50[2]	S, NM	AWQC, 1983
2,000 ($HgCl_2$)	96	Phrygane (*Hydropsyche betteni*)	TL 50[2]	S, NM	AWQC, 1983
1,200 ($Hg(NO_3)_2$)	96	Phrygane (non ident.)	TL 50[2]	S, NM	AWQC, 1983
0,020 ($Hg(NO_3)_2$)	96	Moucheron (*Chironomus* sp.)	TL 50[2]	S, M	AWQC, 1983
0,108, 0,1075 ($HgCl_2$)	7 à 8 j	Salamandre marbrée (*Ambystoma opacum*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,672 ($HgCl_2$)	7 j	Grenouille grogneuse (*Rana grylle*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0599 ($HgCl_2$)	7 j	Grenouille de heckscher (*Rana heckscheri*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0073 ($HgCl_2$)	7 j	Grenouille léopard du Nord (*Rana pipiens*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983

* Voir notes explicatives à la p. 53.

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,001 0,0013 ($HgCl_2$)	7 j	Crapaud à bouche étroite (*Gastrophryne carolinensis*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,040 ($HgCl_2$)	7 j	Crapaud vert (*Bufo debilis*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0659 ($HgCl_2$)	7 j	Crapaud de Fowler (*Bufo fowleri*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0368 ($HgCl_2$)	7 j	Crapaud à points rouges (*Bufo punctatus*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0104 ($HgCl_2$)	7 j	Rainette-criquet du Nord (*Acris crepitans*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0024 ($HgCl_2$)	7 j	Rainette chrysocale (*Hyla chrysoscelis*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0028 ($HgCl_2$)	7 j	Rainette crucifère (*Hyla crucifer*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0025 ($HgCl_2$)	7 j	Rainette jappeuse (*Hyla gratiosa*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0024 ($HgCl_2$)	7 j	Rainette-écureuil (*Hyla squirella*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,0026 ($HgCl_2$)	7 j	Rainette versicolore (*Hyla versicolor*) embryon, larve	TE 50, mort et difformité		AWQC, 1983
0,00016 à 0,0002 ($HgCl_2$)	11 mois	Grenouille d'Afrique (*Xenopus laevis*) embryon, larve	Taux de mortalité important		AWQC, 1983
0,050 à 0,100 (CH_3HgCl)	48	Grenouille léopard (*Rana pipiens*) têtard	TL 100		AWQC, 1983
0,001 à 0,10 (CH_3HgCl)	4 mois	Grenouille léopard (*Rana pipiens*)	Aucune métamorphose		AWQC, 1983
0,012 à 0,016 (CH_3HgCl)	5 j	Grenouille léopard (*Rana pipiens*) blastula	TL 50		AWQC, 1983

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèces	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
0,008 à 0,012 (CH_3HgCl)	5 j	Grenouille léopard gastrula	TL 50		AWQC, 1983
0,012 à 0,016 (CH_3HgCl)	5 j	Grenouille léopard (*Rana pipiens*) plaque neurale de l'embryon	TL 50		AWQC, 1983
0 à 0,004 (CH_3HgCl)	96	Grenouille léopard (*Rana pipiens*) blastula	TE 50 tératogénèse		AWQC, 1983
0,008 à 0,012 (CH_3HgCl)	96	Grenouille léopard (*Rana pipiens*) gastrula	TE 50 tératogénèse		AWQC, 1983
0,012 (CH_3HgCl)	96	Grenouille léopard (*Rana pipiens*) plaque neurale de l'embryon	TE 50 tératogénèse		AWQC, 1983
0,008 (CH_3HgCl)	> 2 j	Triton (*Triturus viridescens*)	Régénération des membres retardée		AWQC, 1983
0,300 (CH_3HgCl)	17 j	Triton (*Triturus viridescens*)	Létal		AWQC, 1983
1,000 (CH_3HgCl)	8 j	Triton (*Triturus viridescens*)	Létal		AWQC, 1983
1,100 (CH_3HgCl)	93 j	Vison (*Mustela vison*) adulte	Évidence histologique de lésion		AWQC, 1983
11,000 (CH_3HgCl)	93 j	Vison (*Mustela vison*) adulte	TL 50, tissu cérébral		AWQC, 1983

1. Exprimé sous forme de mercure élémentaire et non du composé mentionné.
2. Toxicité aiguë moyenne pour l'espèce.
3. S = épreuve biologique en conditions statiques; M = teneur mesurée; NM = teneur non mesurée.

6.4 Étude des effets toxiques

Comme le lecteur a pu s'en rendre compte, le mercure produit des effets fort variables. Il serait trop compliqué et très difficile d'en expliquer les raisons dans cet ouvrage. L'accumulation du mercure à des teneurs élevées dans des organes de prédilection dépend certainement de sa forme (organique ou inorganique) et de la nature de l'organisme vivant. En général, le mercure peut provoquer des intoxications aussi bien aiguës que chroniques. Il affecte la peau et les branchies des poissons, retarde leur développement, affecte l'éclosion des oeufs; il est cause de lésions

hépatiques et rénales, touche le système nerveux central et s'accumule dans le foie, les reins, le cerveau ainsi que dans les muscles. Il inhibe la mitose et perturbe la photosynthèse chez les végétaux. Il peut également diminuer la reproductivité d'espèces qui se trouvent au sommet des chaînes alimentaires.

6.5 Dégradation du polluant

6.5.1 Dégradation biologique (Sax, 1979; Coates, 1960; WHO, 1976; SPE, 1979). – Deux types de cycle ont été proposés pour la dispersion du mercure dans l'environnement: un cycle «global», qui dépend de la circulation atmosphérique de la vapeur de mercure élémentaire; un cycle «local», basé sur une circulation hypothétique des composés volatils du méthylmercure. Les émissions de mercure élémentaire sont en majeure partie d'origine naturelle alors que les composés du méthylmercure sont plutôt le produit des activités de l'homme. Bien que les deux cycles soient importants, c'est toutefois le cycle local qui est le plus préoccupant en ce qui nous concerne. Toutes les formes de mercure, que ce soit le métal liquide, la vapeur métallique, les composés inorganiques ou organiques, représentent une charge pour l'environnement.

Les composés organo-mercuriels peuvent être groupés en trois catégories: le type R Hg X (R est un radical organique, et X un anion dissociable), le type R_2 Hg et les types mixtes (possiblement aucun des deux types susmentionnés; un grand nombre n'ont pas été caractérisés). Les composés d'alkylmercure (R Hg X) sont des solides cristallins généralement plus solubles dans les solvants organiques que dans l'eau. Lorsque X est très dissociable (comme le fluor, le nitrate, le sulfate ou le phosphate), ces composés se comportent à peu près comme les sels, $R\ Hg^+\ X^-$, et sont généralement plus solubles dans l'eau et l'alcool que dans les solvants non polaires; lorsque X est le chlore, le bromure, l'iode, l'ion hydroxyle, etc., ces composés se comportent comme des substances covalentes. Le chlorure fond à 170 °C, mais il a tendance à se décomposer même à faible température pour former du mercure métallique et du diméthylmercure (p.é. 96 °C). Le diméthylmercure est très toxique et ne se décompose pas de façon perceptible à la température ambiante. Les composés alkylés à chaîne longue se décomposent pour donner du mercure métallique. Les composés dialkylés sont principalement des liquides volatils monomériques. Le diméthylmercure est insoluble dans l'eau, mais en raison de sa grande volatilité, il est porté à se diffuser dans l'atmosphère à partir du milieu aquatique. Il peut être entraîné par les eaux de pluie; lorsque celles-ci sont acides, il est porté à se convertir en un composé de type monométhylmercure. Le diméthylmercure réagit facilement avec les composés mercuriques comme les halogénures pour former deux molécules d'halogénures de monométhylmercure.

Les deux formes de mercure, soit le mercure inorganique (p. ex. le mercure élémentaire ou le sulfure, HgS) et organique, se convertissent en d'autres formes dans l'environnement. La transformation des formes inorganiques est principalement le fait de réactions d'oxydo-réduction; p. ex., dans l'eau, la vapeur de mercure métallique est oxydée en ions mercuriques en présence d'oxygène. Cette dernière réaction est favorisée par les substances organiques présentes dans le milieu aquatique. Une fois formées, les espèces ioniques peuvent former une grande variété de complexes et de chélates avec les matières organiques. Une importante réaction est celle avec l'ion sulfure ($S^=$) pour former le sulfure mercurique très insoluble. Cette dernière réaction peut facilement se produire en milieu aquatique anaérobie où se trouve fort vraisemblablement du sulfure d'hydrogène gazeux dissous. Il est très rare que le sulfure stable connaisse une transformation ultérieure en milieu anaérobie. Le sulfure insoluble peut cependant s'oxyder en sulfite ($SO_3^=$) et en sulfate ($SO_4^=$) de mercure, formes solubles qui permettent au mercure de s'ioniser et de participer à des réactions chimiques subséquentes.

La décomposition d'une variété de composés du mercure organique donne également lieu à la formation d'ions mercuriques. Les composés d'alkoxyalkylmercure sont très instables en milieu acide et les dérivés arylés et alkoxyalkylés peuvent être décomposés dans l'environnement par des processus chimiques et physiques, ainsi que par des processus à intermédiaire biologique.

Dans l'environnement, l'ion mercurique peut être transformé en vapeur de mercure métallique et en composés de méthylmercure (CH_3Hg X) et de diméthylmercure ($(CH_3)_2Hg$), sans parler de toutes les réactions d'interconversions entre ces dérivés. La réduction du mercure métallique peut se produire dans la nature si les conditions de réduction appropriées existent. Cette réaction est probablement le procédé-clé du cycle «global» du mercure. Certaines bactéries et particulièrement les *Pseudomonas*, peuvent également convertir l'ion mercurique en mercure métallique. La formation de composés de méthylmercure joue un rôle important dans le cycle «local» du mercure et c'est ce point qui nous préoccupe particulièrement. Il a été démontré que la méthylation biologique du mercure peut se produire dans les sédiments organiques d'aquariums et dans les sédiments des eaux douces et des eaux côtières.

La méthylation du mercure se fait dans des conditions tant anaérobies qu'aérobies, par réaction biochimique. On sait assez bien comment la méthylation s'opère en milieu anaérobie mais en ce qui nous concerne, les conditions anaérobies sont secondaires (étant donné la formation préférentielle de sulfure mercurique). Le mode aérobie implique la méthylation du mercure qui est liée à l'homocystine par des processus normalement responsables de la formation de méthionine dans la cellule. Étant donné que dans des conditions aérobies en milieu aquatique, les couches sédimentaires supérieures et les particules fines en suspension dans l'eau peuvent être à la fois aérobies et anaérobies, les deux modes sont possibles dans l'eau normalement oxygénée. C'est dans la partie supérieure des sédiments organiques (aérobies) et sur les matières organiques en suspension que la méthylation s'opère le plus rapidement en milieu aquatique.

Ce processus se résume de la façon suivante: en milieu aqueux, l'ion mercurique est formé soit par oxydation de la vapeur de mercure métallique par des processus physico-chimiques, soit par coupure chimique ou enzymatique du lien carbone-mercure des composés organomercuriels. L'ion se lie alors aux sédiments en suspension ou aux couches sédimentaires. Après un certain temps, on suppose que d'importantes quantités de mercure inorganique pénètrent les couches sédimentaires supérieures biologiquement actives pour atteindre les couches minérales inorganiques des sédiments, où ils demeurent inactifs. La méthylation des ions mercuriques se trouvant dans les couches superficielles des sédiments entraîne la formation de monométhylmercure et de diméthylmercure. La méthylation accroît fortement la capacité du mercure à traverser les membranes biologiques, ce qui explique la présence de méthylmercure surtout, dans les organismes aquatiques. L'origine des dérivés méthylés chez les poissons des eaux salées n'est cependant pas très bien comprise. On sait qu'il y a méthylation dans la couche de mucus recouvrant le poisson, mais on ne peut pas pour autant conclure à la méthylation du mercure organique dans la chair des poissons.

Le mercure métallique en suspension dans l'air est sujet à des interactions physiques et chimiques. Physiquement, il peut être adsorbé par les matières particulaires en suspension dans l'air, mais tout porte à croire que cette forme constitue à peine 5 p. 100 de la teneur en mercure total dans l'atmosphère. La vapeur se répartit plus ou moins uniformément entre l'air et l'eau, à condition de demeurer à l'état non oxydé. Il a été démontré dans certains endroits bien précis, que le mercure en suspension dans l'air était composé d'ions mercuriques, d'ions monométhylmercure (CH_3Hg^+), de mercure élémentaire (Hg) et, en proportion beaucoup moins importante, de diméthylmercure (CH_3HgCH_3). À noter que ce dernier est converti en mercure élémentaire

par les rayons ultraviolets. Il faut également souligner que dans certains cas, les espèces méthylées passent dans l'atmosphère à la suite d'une biométhylation en milieu aqueux. Il semble évident, d'après la documentation, que les réactions de conversion et d'interconversion du mercure élémentaire et de ses composés se fait plus rapidement en milieu aquatique et que c'est ce milieu qui a été le plus étudié.

Il a également été démontré que l'ion mercurique dans le sol peut être converti en méthylmercure (CH_3Hg^+). L'expérience a été réalisée avec du nitrate mercurique ($Hg_2(NO_3)_2$). Des expériences faites sur des sols enrichis par des solutions de chlorure de mercure (Hg_2Cl_2) ont indiqué une émission immédiate de mercure métallique et une émission subséquente de méthylmercure (CH_3Hg^+) et de diméthylmercure ($(CH_3)_2Hg$). Lors de ces expériences, on n'a pas constaté d'accumulation du méthylmercure dans le sol; on ne peut cependant dire exactement si ce phénomène est attribuable à la volatilisation ou à la déméthylation, mais on sait que le temps, la température, l'humidité du sol, le carbone disponible dans le sol et la texture du sol sont des facteurs ayant eu un rôle définitif.

6.5.2 Effets sur les installations de traitement des eaux d'égout et des eaux usées. – L'une des principales fonctions des installations de traitement des eaux d'égout et des eaux usées est d'abaisser la demande chimique et biologique en oxygène (DCO/DBO) de l'effluent rejeté dans l'environnement, et le meilleur moyen d'y parvenir est de faire subir un traitement biologique aux eaux brutes. Il a été démontré que des teneurs en ions mercuriques de 1,0, 2,1 ou 2,5 mg/l ne contrecarraient pas la baisse de la DCO dans une usine de traitement. Par contre, lorsque les teneurs atteignaient entre 5 et 10 mg/l, la baisse de la DCO était considérablement retardée (EPA 660/2-77-239).

Teneur en Hg^{++} (mg/l)	Durée (h)	Élimination (en %)	Culture
5,0	0,5	60	Organismes aérobies d'eaux d'égout
5,0	1,0	55	Organismes aérobies d'eaux d'égout
10	0,5	41	Organismes aérobies d'eaux d'égout
10	1,0	33	Organismes aérobies d'eaux d'égout

En ce qui a trait à la DBO, il a été démontré qu'une teneur en ions mercuriques de 0,61 mg/l avait un effet inhibiteur sur les organismes des eaux d'égout.

Teneur en Hg^{++} (mg/l)	DBO	Ensencement	Source
0,61	Utilisation d'O_2 inhibée de 50 p. 100; dose-effet chronique	Organismes des eaux d'égout	WQC, 1972; 1971
1,0 (sous forme de $HgCl_2$)	Utilisation d'O_2 inhibée de 80 p. 100	Épreuve biologique en laboratoire; organisme non précisé	WQC, 1971

Teneur en Hg^{++} (mg/l)	DBO	Ensencement	Source
2,0 (sous forme de $HgCl_2$)	Bactériostase totale (aucune DBO)	Organismes des eaux d'égout	WQC, 1971
0,02 à 0,2 (sous forme de $HgCl_2$)	Lente augmentation de la toxicité pour les organismes	Organismes des eaux d'égout	WQC, 1971
> 0,2 (sous forme de $HgCl_2$)	Forte augmentation de la toxicité pour les organismes	Organismes des eaux d'égout	WQC, 1971

Pour les essais au respiromètre, la toxicité est définie comme un état où l'absorption d'oxygène par les micro-organismes avec addition d'un produit chimique d'essai est inférieure à l'absorption sans ledit produit chimique. Certains chercheurs parlent dans ce cas d'inhibition, réservant le terme toxicité uniquement si l'absorption d'oxygène est nulle ou qu'elle est significativement diminuée. Ce dernier état indique qu'il y a peu d'activité biologique.

6.5.3 Vitesse de biodégradation et de dissipation. – On a estimé que dans le réseau de la rivière Wabigoon dans le nord-ouest de l'Ontario, l'épuration naturelle du mercure prendra au moins 100 ans (Tataryn, 1982). Ce réseau fluvial constitue un exemple type de pollution industrielle par le mercure. En huit ans (de 1962 à 1970), une usine de chlore et de soude caustique a évacué environ 9000 kg de mercure dans ce cours d'eau. Sur une distance d'environ 80 km en aval du point de rejet, les teneurs en mercure dans les sédiments dépassent 1 ppm comparativement à moins de 0,1 ppm en amont de l'usine. Lorsque les eaux polluées atteignent le lac Clay à 80 km en aval de l'usine, les sédiments pollués ont eu le temps de se déposer si bien que la pollution par le mercure ne se propage pas au-delà de l'embouchure. Passé ce point, les teneurs en mercure baissent et fluctuent entre 0,1 à 1 ppm.

Comme il a été indiqué à la section 6.5.1, le mercure métallique piégé dans les sédiments de fond peut être converti en ions mercuriques et en dérivés organomercuriels comme le monométhylmercure (CH_3Hg^+) ou le diméthylmercure ($(CH_3)_2Hg$) et ainsi être transporté plus facilement par les eaux de la rivière. La majeure partie du mercure qui se trouve dans les eaux de la rivière Wabigoon est cependant adsorbée par la matière en suspension ou la matière décantée. La partie du mercure qui se trouve dans les sédiments de fond demeurera probablement longtemps en place et inactive. Une certaine quantité peut être transportée sous forme de mercure métallique par les sédiments en suspension dans l'eau; le mercure converti est vraisemblablement transporté en solution ou passe dans l'atmosphère. Toutes ces réactions peuvent prendre plusieurs années et même des dizaines d'années. On présume que le mercure métallique transporté dans l'atmosphère contribue en grande partie au cycle de transport global du mercure alors que le mercure en milieu aquatique participe surtout au cycle local (Thibodeaux, 1979; WHO, 1976; SPE, 1979).

6.6 Devenir du polluant et effets à long terme

6.6.1 Bio-accumulation et teneur dans la chaîne alimentaire. – Le facteur d'accumulation du mercure par les plantes aquatiques est de l'ordre de 10 000 à 60 000, selon l'espèce en cause. On sait que le mercure s'accumule dans les sédiments où il peut être rendu presque totalement inactif dans les sédiments profonds ou converti en méthylmercure (CH_3Hg^+). Notons ici que les

végétaux poussant dans les sédiments n'absorbent pas le mercure à travers leurs racines mais directement à partir de l'eau. La libération du mercure lié aux sédiments se fait lentement. Comme indiqué précédemment, l'activité microbienne des sédiments peut transformer le mercure métallique en formes organiques plus ou moins rapidement selon les populations bactériennes présentes dans l'écosystème. Le taux de perte du mercure, par les plantes, est lent également (un peu moins de 1 p. 100 par semaine) (SPE, 1979).

Le processus d'accumulation des composés méthylés serait apparemment plus complexe dans les chaînes trophiques aquatiques que dans les chaînes terrestres. Une fois que le mercure est méthylé dans les couches sédimentaires supérieures ou dans les sédiments en suspension dans l'eau, il dissocie facilement de la particule et peut être accumulé rapidement dans les organismes vivants. Le méthylmercure n'a jamais été décelé dans l'eau filtrée, ce qui indique l'efficacité du processus d'accumulation. Ce composé s'accumule dans toutes les espèces végétales ou animales dotées de membranes permettant les échanges gazeux avec le milieu aquatique. En eau douce, l'accumulation dans les réseaux trophiques se fait en trois étapes: *1*) accumulation par la faune vivant très près des couches sédimentaires actives; *2*) accumulation dans les espèces comme le gardon; et *3*) accumulation dans les gros poissons carnivores comme le brochet. Plus le niveau trophique du poisson est élevé, plus l'absorption de méthylmercure à partir de la nourriture qu'il consomme est importante comparativement à l'absorption directe à partir de l'eau par les branchies. Si l'on prend une chaîne alimentaire globale, on croit toutefois que l'absorption par les branchies constitue le processus principal d'accumulation. L'accumulation du mercure se fait rapidement tandis que l'élimination est lente, et l'on obtient les facteurs de concentration indiqués dans le tableau 3. Les généralisations susmentionnées pour les espèces d'eau douce devraient également s'appliquer aux poissons de mer (WHO, 1976; QCW, 1976).

On a trouvé des facteurs de bioconcentration de 63 000 chez un poisson d'eau douce et de 10 000 chez un poisson d'eau salée, ce qui confirme le concept de l'absorption rapide et d'une lente élimination. Certains facteurs de bioconcentration particuliers calculés par l'EPA des États-Unis en 1978 sont de 4525 à 8376 pour la truite arc-en-ciel, 20 000 pour l'omble de fontaine et 900 à 1640 pour les palourdes (*Anodanta grandis, Lampsitis radiata* et *Lasmigona complanta*) (PTP, 1980). Au cours d'un essai expérimental de 20 à 48 semaines mené avec quelques espèces de poissons, l'omble de fontaine – *Salvelinus fontinalis* a accumulé plus de 0,5 µg de mercure par gramme dans ses tissus à partir d'eau contenant 0,018 à 0,039 µg de méthylmercure par litre. Cela représente des facteurs de concentration de 27 800 à 16 600 (QCW, 1976). Chez des brochets vivant dans de l'eau dont la teneur en mercure (composés non précisés) était de 0,07 ppb, le facteur d'accumulation était de 3000. Ces analyses révèlent des facteurs de concentration de 857, 35 714 et 114 286 (WQC, 1971). Il a également été démontré que du poisson se nourrissant de plantes aquatiques contenant du mercure absorbait jusqu'à 10 fois plus de mercure que le groupe témoin.

Tableau 3
Facteur de bioconcentration

Espèces	Nom latin	Composé chimique	Durée (jours)	Facteur de bioconcentration	Source
Eaux douces					
Algues	*Synedra ulna*	$HgCl_2$	0,29	29 000	AWQC, 1983
Moule	*Margaritifera margaritifera*	$Hg(NO_3)_2$	39	302	AWQC, 1983

Espèces	Nom latin	Composé chimique	Durée (jours)	Facteur de bioconcentration	Source
Gammare	*Gammarus* sp.	$HgCl_2$	7	2500	AWQC, 1983
Gammare	*Gammarus* sp.	$Hg(NO_3)_2$	7	2500	AWQC, 1983
Algues	*Scenedesmus obliquus*	CH_3HgCl	14	2100, max. le 3^e jour	AWQC, 1983
Algues	*Microcystis incerta*	CH_3HgCl	14	990, max. le 3^e jour	AWQC, 1983
Moule	*Margaritifera margaritifera*	CH_3HgCl	57	2463	AWQC, 1983
Gammare	*Gammarus* sp.	CH_3HgCl	7	~ 8000	AWQC, 1983
Truite arc-en-ciel, juvénile	*Salmo gairdneri*	CH_3HgCl	84	4530, poisson entier, 5 °C	AWQC, 1983
Truite arc-en-ciel, juvénile	*Salmo gairdneri*	CH_3HgCl	84	6620, poisson entier, 10 °C	AWQC, 1983
Truite arc-en-ciel, juvénile	*Salmo gairdneri*	CH_3HgCl	84	8049, poisson entier, 15 °C	AWQC, 1983
Gambusie	*Gambusia affinis*	CH_3HgCl	30	2500, poisson entier, 10 °C	AWQC, 1983
Gambusie	*Gambusia affinis*	CH_3HgCl	30	4300, poisson entier, 18 °C	AWQC, 1983
Gambusie	*Gambusia affinis*	CH_3HgCl	30	3000, poisson entier, 164 mg/kg dans la nourriture, 10 °C	AWQC, 1983
Gambusie	*Gambusia affinis*	CH_3HgCl	30	27 000, poisson entier, 238 mg/kg dans la nourriture, 26 °C	AWQC, 1983
Crapet arlequin, juvénile	*Lepomis macrochirus*	CH_3HgCl	28,5	373, poisson entier, 9 °C	AWQC, 1983
Crapet arlequin, juvénile	*Lepomis macrochirus*	CH_3HgCl	28,5	921, poisson entier, 21 °C	AWQC, 1983
Crapet arlequin, juvénile	*Lepomis macrochirus*	CH_3HgCl	28,5	2400, poisson entier, 33 °C	AWQC, 1983
Tête-de-boule	*Pimephales promelas*	$HgCl_2$	287	4994, poisson entier	AWQC, 1983
Tête-de-boule	*Pimephales promelas*	CH_3HgCl	336	64 000, corps entier	AWQC, 1983
Omble de fontaine	*Salvelinus fontinalis*	CH_3HgCl	273	19 000, muscles	AWQC, 1983
Omble de fontaine	*Salvelinus fontinalis*	CH_3HgCl	273	13 000, corps entier	AWQC, 1983
Omble de fontaine	*Salvelinus fontinalis*	CH_3HgCl	756	12 000, corps entier et muscles	AWQC, 1983
Barbue de rivière, larve, embryon	*Ictalurus punctatus*	$HgCl_2$	10	441-2071	AWQC, 1983
Eaux salées					
Algues	*Chaetoceros galvestonensis*	$HgCl_2$	4	10 920	AWQC, 1983
Algues	*Chiromonas salina*	$HgCl_2$	2	853	AWQC, 1983

Espèces	Nom latin	Composé chimique	Durée (jours)	Facteur de bioconcentration	Source
Algues	*Phaeodactylum tricornutum*	$HgCl_2$	4	7120	AWQC, 1983
Algues, mixtes	*Asterionella japonica* plus *Diogenes* sp.	$HgCl_2$	8	3467	AWQC, 1983
Palourde des eaux noirâtres	*Rangia cuneata*	$HgCl_2$	14	1130, animal entier	AWQC, 1983
Huître, adulte	*Crassostrea virginica*	$HgCl_2$	74	10 000, parties molles	AWQC, 1983
Huître, adulte	*Crassostrea virginica*	CH_3HgCl	74	40 000, parties molles	AWQC, 1983
Homard, adulte	*Homarus americanus*	$HgCl_2$	30	129, muscle caudal	AWQC, 1983
Plantes	–	3 mg/l Hg	45	A accumulé 0,83 µg de Hg par g de poids net	Panigrahi, 1978
Demoiselle, nymphe	–	0,05 ng/g de Hg	65	655	WQC, 1972
Dytique	–	0,05 ng/g de Hg	65	603	WQC, 1972
Bigorneau	–	0,05 ng/g de Hg	17	637	WQC, 1972
Tipule	–	0,05 ng/g de Hg	49	517	WQC, 1972

REMARQUE: Les résultats sont exprimés à l'état de mercure élémentaire.

Les animaux et oiseaux des réseaux trophiques terrestres accumulent le méthylmercure principalement à partir des fongicides organomercuriels utilisés pour l'enrobage des graines. Les graines sont mangées par les oiseaux ou les rongeurs, et ces derniers se font manger par les rapaces. Une utilisation limitée des composés de méthylmercure a entraîné une diminution de la teneur en mercure dans un réseau trophique terrestre donné. L'homme court certains risques, principalement en consommant des animaux, des poissons et autres produits de la mer apparemment sains mais contaminés par le mercure (WHO, 1976).

6.7 Effets sur le sol (Klusman, 1983)

Des expériences ont été faites sur six échantillons de sol provenant de la région des sables bitumineux du Colorado exposés à diverses teneurs en vapeur de mercure pendant des périodes allant jusqu'à treize mois. La température variait de -25 à 31 °C. L'étude n'avait pas pour but de circonscrire les problèmes aigus associés à un déversement accidentel de mercure mais plutôt d'établir les paramètres influant sur l'absorption chronique par le sol de vapeurs de mercure émises par l'industrie des schistes bitumineux. Nous croyons cependant que les résultats obtenus, bien qu'ils soient propres à ce type de sol et à cette région géographique, sont très pertinents. Un nettoyage inapproprié du sol ou une exposition continue du sol à des vapeurs de mercure élémentaire pendant un certain temps pourraient entraîner la contamination des terrains avoisinants par un mécanisme d'adsorption et de désorption.

Des quantités modérées de mercure ont été adsorbées par les échantillons de sols exposés à de faibles teneurs en vapeur de mercure pendant de longues périodes, dans les conditions qui règnent normalement à l'endroit d'où ils provenaient. La quantité adsorbée dépend des caractéristiques du sol et de la température. Il s'agit d'un processus dynamique; la désorption se fait lorsque l'exposition est terminée ou lorsque la teneur en mercure en phase vapeur est réduite. La capacité des sols à adsorber le mercure et la vitesse d'adsorption dépend grandement de la quantité d'oxydes amorphes, de fer et de manganèse réductibles, ainsi que de la superficie du sol touché. Ces propriétés dépendent du couvert végétal et, de façon moins importante, du matériau primaire. Plus le sol est fin, plus l'adsorption est grande. L'humidité réduit la capacité d'adsorption. Il a également été établi que les taux de désorption reflètent généralement les taux d'adsorption, indiquant ainsi que l'adsorption n'est pas permanente. Bien d'autres références décrivent des études faites sur d'autres types de sol dans d'autres régions géographiques.

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

La documentation spécialisée donne beaucoup d'information sur les effets nocifs observés chez les humains et les animaux de laboratoire exposés au mercure. Dans le cadre de la présente section, le terme «mercure» couvre le mercure élémentaire, les composés de mercure inorganiques et organiques mentionnés dans les ouvrages consultés. Chez les humains, le mercure et ses composés provoquent des troubles neurologiques et sensoriels, des tremblements, des ulcères de la bouche, des troubles gastro-intestinaux et les manifestations multiples associées à une encéphalopathie générale. L'exposition à de fortes teneurs en mercure peut être mortelle (PTD, 1980; Rabenstein, 1978; QCW, 1976).

Aucune des publications consultées ne traite des effets cancérogènes du mercure élémentaire et ses dérivés inorganiques ou organiques. On a cependant remarqué le développement de tumeurs chez certains mammifères. En ce qui a trait à la mutagénicité, il semble y avoir un rapport statistique entre la fréquence de cassure des chromosomes et la teneur du sang en méthylmercure chez les Suédois qui consomment beaucoup de poisson. Des effets semblables ont été signalés chez la drosophyle et dans l'apex des racines d'oignons exposés au méthylmercure et au phénylmercure. On a noté une paralysie cérébrale congénitale chez des nouveau-nés dont les parents avaient consommé du poisson contaminé par le méthylmercure. Des effets tératogènes ont été observés chez des mammifères exposés aux sels mercuriques (WQC, 1971; DPIMR, 1981; PTP, 1980).

Les données toxicologiques sont extraites de sources dignes de confiance et sont représentatives des valeurs publiées dans différents rapports. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs en mercure, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement dans le cas de déversement.

7.1 Normes d'exposition admissibles

Les normes d'exposition au mercure sont basées sur la prévention de l'hydrargyrisme. Les directives des provinces canadiennes ressemblent en général à celles qui sont élaborées par l'ACGIH aux États-Unis, à moins d'indication contraire.

Norme (temps)	Origine	Teneur maximale admissible	Source
		Moyenne pondérée en fonction du temps (MPT)	
TLV® (8 h)	USA-ACGIH	0,05 mg/m^3 (excepté les dérivés alkylés) sous forme de vapeur de Hg	TLV, 1983
TLV® (8 h)	USA-ACGIH	0,01 mg/m^3 (dérivés alkylés) peau	TLV, 1983
PEL (8 h)	USA-NIOSH	0,05 mg/m^3	NIOSH/OSHA, 1981
		Exposition de courte durée (STEL)	
STEL	USA-ACGIH	0,03 mg/m^3 (dérivés alkylés)	TLV, 1983
Plafond	USA-OSHA	0,1 mg/m^3	NIOSH/OSHA, 1981

Autres aspects de la toxicité pour l'homme

Notion	Origine	Teneur	Source
IDLH (mercure élémentaire)	USA-OSHA	28 mg/m^3	NIOSH/OSHA, 1981
IDLH (dérivés alkylés)	USA-OSHA	10 mg/m^3	NIOSH/OSHA, 1981
TT min.		169 μg/m^3	ITII, 1981
TT min. (mercure élémentaire) (16 j)		150 μg/m^3	RTECS, 1979
DT min. (mercure élémentaire, voie parentérale)		270 à 40 g	Patty, 1981
DL min. (mercure élémentaire, voie orale)		1429 mg/kg	Patty, 1981
DT min. (voie orale, femme) ($HgCl_2$)		50 mg/kg	RTECS, 1979
DL min. (voie orale) ($HgCl_2$)		29 mg/kg	Patty, 1981
DL min. (voie orale) (HgI_2)		357 mg/kg	Patty, 1981
DT min. (voie orale ($Hg(CN)_2$)		10 mg/kg	Patty, 1981

Indice de toxicité par inhalation. – L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance à produire un effet nocif à la suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante:

I.T.I. = 1315,12 x (tension de vapeur en mm Hg)/(TLV® , en ppm)

I.T.I. = 1315,12 (4410/1)

I.T.I. = 5,8 x 10^6

7.2 Données sur les propriétés irritantes

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition (teneur et durée)	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisé	Peut causer des dermites ou allergies cutanées en cas de contact répété ou prolongé	CSC, 1978; NIOSH, 1973
Non précisé	Le mercure inorganique peut être absorbé par la peau d'où possibilité d'effets systémiques semblables à ceux associés aux autres modes d'absorption	NIOSH, 1973

Exposition (teneur et durée)	Effets	Source
Non précisé	Le mercure peut être absorbé lentement par la peau avec risque d'empoisonnement en cas de contact répété ou prolongé	GE, 1977

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition (teneur et durée)	Effets	Source
Non précisé	Le *mercurialentis*, dépôt de mercure sur la capsule antérieure et postérieure du cristallin, peut entraîner une constriction du champ visuel et des taches aveugles	ITII, 1981
Non précisé	Si des gouttelettes de mercure métallique atteignent l'épithélium de la cornée, sans pénétrer le stroma cornéen ou la chambre antérieure, elles sont rapidement rejetées et les réactions seront minimes	ITII, 1981

7.3 Seuil de perception des propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. – Le mercure est inodore (NIOSH/OSHA, 1981). Nous n'avons trouvé aucune donnée sur le seuil de perception olfactive.

7.3.2 Goût. – Aucune donnée.

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition (teneur et durée)	Effets	Source
	A. – Exposition de brève durée	
• CHEZ L'HOMME		
> 8,00 mg/m^3	Intoxication aiguë, gingivite, stomatite, nausées, vomissements, diarrhée, troubles rénaux, irritation des voies respiratoires, lésions neurologiques, dans quel cas les risques de décès augmentent	CSC, 1978
8,00 à 1,20 mg/m^3	Intoxication aiguë, gingivite, stomatite, nausées, vomissements, diarrhée, troubles rénaux, irritation des voies respiratoires, lésions neurologiques; peut être mortel à ces teneurs	CSC, 1978
1 à 3 mg/m^3 (de 2,5 à 5 h présumément) (vapeur de Hg)	Quatre ouvriers exposés à des vapeurs de mercure alors qu'ils nettoyaient un réservoir d'entreposage ont souffert d'une pneumonie chimique aiguë	Milne et coll., 1970. Dans NIOSH, 1973

Exposition (teneur et durée)	Effets	Source
0,4 à 0,8 mg/m^3 (5 h) (teneurs mesurées 5 jours après l'accident; on peut donc supposer qu'elles étaient proches du point de saturation lorsque les ouvriers furent exposés au mercure)	Huit ouvriers se sont trouvés exposés à plusieurs tonnes de mercure suite à la rupture de la tuyauterie d'une chaudière à mercure. L'un d'eux est décédé et les autres ont souffert de frissons, nausées, malaises généraux, oppression thoracique, troubles respiratoires difficiles à définir	Tennant et coll., 1961. Dans NIOSH, 1973
• CHEZ LE LAPIN		
29 mg/m^3 (4 h) (vapeur de Hg)	Graves lésions aux reins, au foie, au cerveau, au coeur, aux poumons et au côlon	Patty, 1981
29 mg/m^3 (30 h)	TL min.	RTECS, 1979
	B. – Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
8,5 à 1,2 mg/m^3 (vapeur de mercure)	Intoxication aiguë. Tableau clinique comprenant goût métallique dans la bouche, nausées, douleurs abdominales, vomissements, diarrhée et céphalée. Hypertrophie des glandes salivaires, stomatite et gingivite après quelques jours. Possibilité de déchaussement des dents et d'ulcères sur les lèvres et dans la bouche. Guérison en 10 à 14 j si le cas est bénin	Patty, 1981
> 2,0 à 0,1 mg/m^3 (vapeur de Hg, teneur en poussières indéterminée)	Quinze des trente ouvriers travaillant dans une mine de cinabre à ciel ouvert présentaient des signes et symptômes d'intoxication par le mercure, notamment tremblements, gingivite, salivation abondante, irritabilité	Ladd et coll., 1966. Dans NIOSH, 1973
> 2,0 à 0,5 mg/m^3 (on ne sait pas de quel dérivé il s'agit; on sait cependant que l'on utilisait du $Hg(NO_3)_2$ pour la fabrication du feutre)	Trois cents cas d'intoxication par le mercure ont été dénombrés parmi les 1173 chapeliers compris dans l'étude. Incapacité permanente chez un tiers des ouvriers intoxiqués. Aucun cas d'intoxication n'a été relevé chez des ouvriers exposés à des teneurs inférieures à 0,1 mg/m^3	Baldi et coll., 1953. Dans NIOSH, 1973
1,00 à 0,30 mg/m^3	Intoxication chronique, perte de l'appétit et de poids, tremblements, irritabilité, gingivite, stomatite, salivation abondante, troubles hépatiques et rénaux, troubles de l'élocution	CSC, 1978
1,0 à 0,25 mg/m^3	Sur 70 chapelières, deux tiers présentaient des symptômes d'intoxication par le mercure. Les études hématologiques n'ont révélé aucune différence importante des éléments figurés du sang et des taux d'hémoglobine par rapport à un groupe témoin d'ouvrières non exposées au mercure	Kesic et Haeusler, 1951. Dans NIOSH, 1973

Exposition (teneur et durée)	Effets	Source
0,72 à 0,06 mg/m^3 (vapeur de Hg/aérosol; l'industrie utilisait du $Hg(NO_3)_2$)	Quarante-trois cas d'intoxication par le mercure dénombrés chez 529 ouvriers qui travaillaient dans des ateliers de coupage de poils destinés à la fabrication de chapeaux de feutre. Les symptômes généralement énumérés étaient: tremblements, irritabilité, troubles vasomoteurs et affections buccales	Neal et coll., 1937. Dans NIOSH, 1973
0,27 à 0,05 mg/m^3	Insomnie, perte de poids et d'appétit	CSC, 1978
0,27 à 0,01 mg/m^3 (vapeur de Hg, pendant 1 an environ)	50 ouvriers (9 p. 100) se plaignaient d'anorexie, 74 (13 p. 100) de perte de poids, et 56 (10 p. 100) d'insomnie. Les médecins traitant ont noté et signalé des tremblements chez un nombre indéterminé de ces ouvriers	Smith et coll., 1970. Dans NIOSH, 1973
$<$ 0,27 à 0,01 mg/m^3 (vapeur de mercure)	Aucun cas d'intoxication par le mercure n'a été diagnostiqué	Smith et coll., 1970. Dans NIOSH, 1973
$>$ 0,1 mg/m^3	Dans une étude portant sur des mines de de mercure et 20 usines d'affinage, on ne signale que 3 cas de tremblements (22 ouvriers); 5 ouvriers sur 11 présentaient des signes d'intoxication, notamment inflammation des gencives, salivation excessive, déchaussement des dents	Doc. TLV, 1981
0,10 à 0,08 mg/m^3 (vapeur de Hg)	Étude de travailleurs exposés aux vapeurs de mercure dans des usines de production de chlore par le procédé au mercure. Aucun des travailleurs examinés ne présentait des signes manifestes d'absorption de mercure	McGill et coll., 1964. Dans NIOSH, 1973
0,1 à 0,05 mg/m^3	Sur 75 ouvriers d'une fabrique d'instruments scientifiques en verre exposés à des vapeurs de mercure, un seul présentait des tremblements et 6 ont déclaré souffrir d'insomnie. L'examen de la vue a révélé que 59 étaient myopes	Doc. TLV, 1981
• CHEZ LE RAT (blanc) 20 à 30, 8 à 10, 2 à 5 μg/m^3 (vapeur de Hg en continu pendant 9,5 mois)	À l'autopsie, on a constaté l'accumulation de mercure dans les reins, le foie, le cerveau et le coeur. L'accumulation était moindre dans les deux derniers organes; évidence de modifications pathomorphologiques, et de troubles de l'activité fonctionnelle des centres nerveux supérieurs	Stahl, 1969
• CHEZ LE LAPIN 6000 μg/m^3 (vapeur de Hg, 6 semaines)	Graves lésions aux reins, au coeur, aux poumons, et au cerveau	Stahl, 1969
• CHEZ LE CHIEN 20 000 μg/m^3 (vapeur de Hg, quelques heures)	Dose mortelle	Stahl, 1969

Exposition (teneur et durée)	Effets	Source
6000 à 20 000 $\mu g/m^3$ (vapeur de Hg, 8 j)	Dose mortelle	Stahl, 1969
3000 à 6000 $\mu g/m^3$ (vapeur de Hg, 40 j)	Effets sur le système nerveux central et le tube digestif	Stahl, 1969
3000 $\mu g/m^3$ (vapeur de Hg, 40 j)	Aucun signe d'intoxication	Stahl, 1969
~ 860 $\mu g/m^3$ (vapeur de Hg, 6 semaines)	Lésions importantes au cerveau et aux reins, qui ont disparu une fois les sujets éloignés de la source d'exposition	Stahl, 1969
100 $\mu g/m^3$	Aucune lésion	Stahl, 1969
• CHEZ LE CHIEN, LE LAPIN, LE RAT		
0,1 à 30 mg/m^3 (vapeur de Hg, durée variable)	Modifications dans divers organes décelables au microscope	WHO, 1976
0,9 mg/m^3 pendant 12 semaines (vapeur de Hg)	Lésions aux reins et au cerveau	WHO, 1976
0,1 mg/m^3 pendant > 12 semaines (vapeur de Hg)	Aucune modification décelable au microscope	WHO, 1976

7.4.2 Ingestion

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisé	L'ingestion d'une petite quantité de mercure métallique pur ne devrait causer aucun effet nocif. S'il s'agit d'un dérivé du mercure, il y a par contre risque d'intoxication	GE, 1977
> 200 g (enfant de 2 ans)	Aucune réaction	Goldwater, 1972
~ 128 g (femme enceinte)	Apparition de tremblements et de grands frissons après quelques jours et perte du tonus musculaire. Les symptômes ont persisté pendant deux mois	Goldwater, 1972 (accident survenu en 1873)
907 g (femme)	Plus aucune trace de mercure le quatorzième jour. Salivation excessive mais retour rapide à la normale	Goldwater, 1972 (accident rapporté dans un ouvrage 1875)
• CHEZ LE RAT		
10 mg/kg/7 j (CH_3Hg^+)	Lésions rénales	WHO, 1976
2 mg/kg, durée non précisée (CH_3Hg^+ dans la nourriture)	Les femelles ont davantage réagi que les mâles; lésions caractérisées par l'extrusion des masses cytoplasmiques des cellules tubulaires proximales	WHO, 1976
2 mg/kg/9 j (CH_3HgCl) (femelle gravide)	DT min.	RTECS, 1979
• CHEZ LA SOURIS		
30 mg/kg/6 j (CH_3HgCl) (femelle gravide)	DT min.	RTECS, 1979

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE CHAT 4067 mg/kg/10 à 58 j (CH_3HgCl) (femelle gravide)	DT min.	RTECS, 1979
• CHEZ LE COBAYE 21 mg/kg	DL 50	RTECS, 1979

REMARQUE: On sait que la vapeur de mercure est absorbée au niveau alvéolaire et capillaire. Elle s'oxyde rapidement en ion mercurique Hg^{2+} qui peut se lier au sang, aux tissus, aux liquides et aux protéines et ainsi se fixer dans les organes sensibles. L'absorption du mercure élémentaire par la voie digestive est négligeable, voire nulle. Une hausse des teneurs en mercure dans le sang a été rapportée à la suite d'ingestion de mercure métallique. Ce dernier serait rapidement absorbé dans le tube digestif mais son ingestion accidentelle ne semble pas avoir d'effet nocif (Merk, 1983). Les dérivés inorganiques du mercure ne semblent pas aisément absorbés dans les intestins. Il semblerait que le mercure inorganique se fixe aux protéines du contenu intestinal plutôt qu'aux protéines des premières cellules muqueuses qu'il traverse. Les composés organomercuriels sont en revanche rapidement absorbés par le tube digestif. C'est principalement dans les reins que le mercure élémentaire s'accumule avec risques d'altérations rénales. D'après les données disponibles, l'absorption de mercure élémentaire semble avoir des effets beaucoup moins toxiques que l'inhalation de vapeurs de mercure. Les composés du mercure organiques et inorganiques se distribuent surtout dans les tissus (Stahl, 1969; NIOSH, 1973; WHO, 1976; PC, 1984). Pour des raisons évidentes, nous ne nous sommes pas attardés sur les effets liés à l'ingestion de mercure élémentaire, et nous laissons aux lecteurs intéressés le soin d'étudier en détail la documentation disponible.

7.4.3 **Injection sous-cutanée et intraveineuse** (chez l'homme)

Dose	Effets	Source
~ 270 g (20 ml) (mercure élémentaire)	Emboles de mercure dans les deux champs pulmonaires, concentration du métal dans l'abdomen et globules de mercure dans le ventricule droit 2 jours après l'injection. Les autres symptômes comprenaient: légère fièvre, respiration de faible amplitude, malaise généralisé, douleurs thoraciques pleurétiques accompagnées d'essoufflement pendant 24 heures. Fonctions pulmonaires réduites. L'état du patient s'est graduellement amélioré après 5 mois et on n'a décelé aucun signe de lésion rénale ou hépatique	Patty, 1981
20 à 40 g	Abcès au site d'injection où du mercure était resté; aucun autre signe clinique d'intoxication par le mercure	Patty, 1981

7.4.4 Cancérogénécité, tératogénécité et mutagénécité. – Nous n'avons trouvé dans la documentation consultée aucun rapport à l'effet que le mercure inorganique serait un mutagène ou un tératogène pour l'homme. Il n'existe également aucune preuve d'action cancérogène attribuable à l'exposition au mercure (PTP, 1980).

Chez certains mammifères, le mercure exerce une action tératogène et on a observé l'apparition spontanée de tumeurs (PTP, 1980). L'injection intrapéritonéale de mercure métallique à des rats a provoqué des sarcomes (NIOSH/OSHA, 1981).

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante mentionnés dans la plupart des documents consultés. En ce qui concerne les symptômes de l'intoxication attribuable à l'inhalation, ils ont été regroupés en fonction de la nature de l'intoxication (aiguë ou chronique). À moins d'indication contraire, les symptômes concernent le mercure élémentaire ou les dérivés inorganiques du mercure sous forme de vapeur, aérosol ou poussières (Patty, 1981; NIOSH, 1973; Stahl, 1969; PTP, 1980; Goldwater, 1972).

7.5.1 Inhalation

7.5.1.1 Intoxication aiguë

1. Goût métallique.
2. Nausées.
3. Douleurs abdominales.
4. Vomissements.
5. Diarrhée.
6. Albuminurie.
7. Effets sur le système respiratoire: constriction et douleurs thoraciques, dyspnée (difficulté à respirer), toux, pneumonie, bronchite.
8. Effets sur le caractère et la personnalité: irritabilité, sautes d'humeur, excitation, timidité excessive, indécision.
9. Enflure des glandes salivaires.
10. Stomatite (inflammation de la muqueuse buccale).
11. Gingivite (inflammation des gencives).
12. Déchaussement des dents.
13. Ulcérations des lèvres et de la bouche.
14. Hémolyse (destruction des globules rouges).
15. Insomnie.
16. Tics faciaux.
17. Tremblements des extrémités.
18. Délire.
19. Hallucinations.
20. Troubles vasomoteurs.
21. Oedème pulmonaire.
22. L'inhalation de mercure peut être mortelle.

7.5.1.2 Intoxication chronique

1. Effets sur le caractère et la personnalité: irritabilité, irascibilité, impossibilité de se concentrer, caractère craintif, indécision, dépression.
2. Maux de tête.
3. Fatigue.
4. Faiblesse.
5. Perte de mémoire.

6. Tremblements.
7. Écriture hésitante.
8. Paresthésie.
9. Sens olfactif ou gustatif diminués.
10. Névralgie.
11. Dermographisme.
12. Troubles rénaux.
13. Inflammation chronique des muqueuses rhinopharyngées et saignements du nez.
14. Salivation excessive.
15. Gingivite.
16. Troubles digestifs.
17. Lésions oculaires.
18. Amblyopie.
19. Rétrécissement du champ visuel (surtout avec les dérivés organiques).

7.5.2 **Ingestion.** – Le mercure métallique n'est pas considéré toxique à moins qu'il ne soit absorbé par le tube digestif (Dreisbach, 1980) (voir remarque en 7.4.2). Les symptômes énumérés ci-dessous concernent l'ingestion de dérivés inorganiques, p. ex. le chlorure mercurique.

1. Soif intense (Lefèvre, 1980).
2. Brûlures dans la bouche et la gorge.
3. Douleurs à l'estomac ou au ventre.
4. Nausées et vomissements (les vomissures peuvent être sanguinolentes ou verdâtres) (Lefèvre, 1980).
5. Diarrhée parfois sanguinolente ou verdâtre.
6. État de choc (CSC, 1978).
7. Lésions rénales (NIOSH, 1973).
8. Anurie (suppression des urines) (Dreisbach, 1980).
9. Troubles possibles des systèmes nerveux, digestif, urinaire, et endocrinien (CSC, 1978).
10. Irritation et ulcères profonds des tissus.
11. Collapsus circulatoire.
12. L'ingestion de mercure peut entraîner la mort.

REMARQUE: Après la pénétration du mercure dans l'organisme, les symptômes notés lors de l'inhalation peuvent se manifester.

7.5.3 **Contact avec la peau.** – Les sels solubles de mercure irritent la peau. Ils peuvent aussi traverser la peau saine. Le mercure métallique peut être irritant pour la peau et est également absorbé par la peau saine. Les cas de dermites relevés dans la documentation étaient la plupart du temps associés aux dérivés inorganiques du mercure (NIOSH, 1973; WHO, 1976).

1. Irritation.
2. Rougeur.
3. Cloques (Lefèvre, 1980).

7.5.4 **Contact avec les yeux.** – Le mercure métallique n'est pas irritant pour les yeux. Les sels insolubles de mercure sont des irritants mécaniques alors que les sels solubles sont des irritants des muqueuses (Lefèvre, 1980). À la suite d'une exposition prolongée aux vapeurs de mercure, la capsule antérieure du cristallin peut présenter un reflet gris-brun ou jaune (WHO, 1976; NIOSH, 1973).

1. Irritation.
2. Larmoiement.
3. Rougeur des conjonctives.
4. Oedème des paupières (Lefèvre, 1980).
5. Parfois, lésions graves de l'oeil (Lefèvre, 1980).
6. Mercurialentis (ITII, 1981).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité du mercure et de divers corps chimiques et groupes de produits chimiques

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
En général														
Chaleur						•								Sax, 1979
Produits chimiques														
Acétylène			•										Formation d'acétylure insoluble et explosif	NFPA, 1978
Ammoniac			•											Bretherick, 1979
Diïdiophosphure de bore		•											S'enflamme au contact de vapeurs de mercure	Bretherick, 1979
Calcium										•				Bretherick, 1979
Chlore		•											Formation de flammes si du chlore est projeté au-dessus de mercure, entre 200 et 300 °C	NFPA, 1978
Dioxyde de chlore			•							•				NFPA, 1978
Oxyde d'éthylène			•											Bretherick, 1979
Azide de méthyle			•										Peut exploser	Bretherick, 1979
Carbure de sodium										•			Les mélanges broyés peuvent réagir violemment	NFPA, 1978
Groupes de produits chimiques														
Métaux										•				Bretherick, 1979
Oxydants										•				Bretherick, 1979

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les exposés qui suivent sont extraits de diverses publications. Leur formulation originale a été respectée pour éviter toute déformation de sens, et ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent d'éventuels désaccords entre les sources. Toutefois, la contradiction de certaines mesures qui s'appliquent à des cas particuliers n'est qu'apparente. La mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 **Risques d'incendie.** – Le mercure élémentaire est incombustible (NIOSH/OSHA, 1981). C'est un corps qui se vaporise facilement. Il peut dégager des vapeurs toxiques à la température ambiante déjà et des vapeurs extrêmement toxiques à des températures élevées. Il y a risque d'explosion si le mercure vient en contact avec l'acétylène, l'ammoniac, le dioxyde de chlore, l'acide nitrique mélangé à l'éthanol, et l'azide de méthyle (GE, 1977).

9.1.2 **Moyens d'extinction.** – Lorsque du mercure se trouve sur les lieux d'un incendie, il est recommandé d'utiliser les agents d'extinction conseillés pour les matières combustibles. Il y a lieu d'éloigner les récipients exposés si cela ne présente aucun danger. Comme le mercure élémentaire se vaporise facilement lorsqu'il est exposé à la chaleur, il faut veiller à ce que le personnel d'intervention porte une combinaison entièrement étanche ainsi qu'un appareil respiratoire autonome.

9.1.3 **Mesures d'intervention en cas de déversements**

9.1.3.1 **Déversements sur le sol.** – Qu'il s'agisse du déversement d'une ou de plusieurs potiches de mercure élémentaire, le produit sera toujours récupéré avec un dispositif d'aspiration. On utilisera de préférence les appareils spécialement conçus pour le mercure. Tout autre type d'aspirateur sera muni d'un contenant approprié pour le mercure et la sortie d'air sera équipée d'un filtre spécial pour éviter le dégagement de vapeurs. Contenir le mercure déversé par des barrières mécaniques ou chimiques afin d'éviter qu'il ne s'étale davantage à cause des inégalités du sol. Le mercure récupéré doit être placé dans des contenants hermétiquement scellés. Il sera soit recyclé ou mis en décharge. Le personnel d'intervention doit porter des vêtements protecteurs ainsi qu'un appareil respiratoire autonome.

9.1.3.2 **Déversements dans l'eau.** – Contenir le mercure dans les dépressions naturelles ou avec des sacs de sable. Récupérer le produit avec des tuyaux d'aspiration (EPA 670/2-75-042).

S'il est impossible de procéder immédiatement au nettoyage, le mercure peut être recouvert avec l'un des matériaux suivants pour empêcher qu'il ne réagisse davantage avec l'eau: argiles inertes, silicates fraîchement broyés, copeaux de tournage, résidus de fluorine, pellicules de polymères, nylon n^{o} 6 préformé, thiols, fibres (à base de nylon, de coton et de laine), geiée d'alcool polyvinylique (contenant du soufre ou du thiocarbamide de phényle (D'Itri, 1977). Une toile de coton imprégnée de soufre est également utile pour combattre l'érosion du mercure déversé et empêcher sa remise en suspension (WPCRS, 1972). Il est à noter que les matériaux susmentionnés protégeront le mercure déversé en cas de turbulence mais n'empêcheront pas sa méthylation. Le lecteur notera également que ces matériaux de recouvrement peuvent entraver

la récupération ultérieure du produit. Il serait donc bon de considérer ce facteur avant de prendre une décision.

9.1.4 Nettoyage et traitement

9.1.4.1 Déversements sur le sol. – La totalité du mercure déversé devrait pratiquement avoir été récupéré au moyen d'un dispositif d'aspiration, que le mercure ait été déversé sur une surface dure comme du béton ou directement sur le sol. Des analyses seront faites pour vérifier si le sol contient du mercure. Dans l'affirmative, la couche superficielle de sol sera enlevée. En cas de déversement de mercure sur une surface dure, la surface en cause sera probablement plus étendue vu que le mercure se fractionnera à l'impact. Le nettoyage ne devrait néanmoins soulever aucun problème. Des échantillons de la surface polluée seront prélevés et analysés. S'ils contiennent du mercure, il y a lieu de répandre du polysulfure de calcium contenant un excédent de soufre dans les fissures et autres endroits inaccessibles ou sur les grandes surfaces pour, d'une part, convertir le mercure en sulfure de mercure (GE, 1977) et en ce qui concerne les grandes surfaces, réduire l'émission de vapeur de mercure pendant le nettoyage (NRCC, 1979).

9.1.4.2 Déversements dans l'eau. – On prendra tous les moyens nécessaires pour contenir dans la mesure du possible le mercure élémentaire liquide déversé et effectuer le nettoyage le plus rapidement possible. Le nettoyage se fait à l'aide de dispositifs d'aspiration, ce qui permet de récupérer non seulement le mercure métallique libre mais aussi une quantité considérable du mercure adsorbé sur les sédiments. Tout le liquide aspiré doit *obligatoirement* être déchargé dans des récipients appropriés en vue d'un traitement ultérieur sur place ou dans des installations de traitement des déchets.

Si l'analyse de l'eau et des sédiments indiquent qu'un traitement du plan d'eau s'impose après le nettoyage, on aura recours aux méthodes expliquées à la section 9.1.4.3. La méthode utilisant l'adsorption sur charbon est très efficace pour récupérer l'ion mercurique (sous forme de HgCl) mais ne peut malheureusement pas être employée dans un système aquatique naturel. L'efficacité de récupération a atteint 99 p. 100 environ pour un rapport dose de charbon/teneur initiale en mercure variant de 5:1 à 100:1. L'efficacité était quelque peu réduite si le charbon était emprisonné dans un sachet de thé.

9.1.4.3 Généralités. – Une méthode de récupération du mercure dissous dans l'eau consiste à précipiter le sulfure mercurique insoluble qui peut ensuite être récupéré par décantation ou filtration. Lors de l'addition d'un réactif à base de sulfure, il ne faut pas qu'il y ait de chlore libre afin d'empêcher la formation d'un complexe tétrachloro soluble ($HgCl_4^{=}$) et de l'ion sulfate ($SO_4^{=}$). Il faut également faire attention à la quantité de réactif sulfuré ajoutée pour prévenir la formation de complexes de disulfure soluble (NRCC, 1979). Ce procédé est expliqué plus en détail ci-dessous.

Les usines de chlore et de soude caustique utilisant le procédé de la cellule au mercure étaient une source majeure de pollution par le mercure avant le début des années 1970. C'est à cette époque que ces usines se mirent à traiter leurs eaux usées au sulfure neutre (Na_2S) ou acide (NaHS) de sodium pour convertir le mercure de l'effluent en sulfure mercurique (HgS) qui peut être précipité. Des études approfondies de ce procédé révélèrent qu'une quantité considérable du mercure contenu dans l'effluent se trouvait sous forme de mercure élémentaire et que le traitement classique au sulfure seul ne permettait pas de rendre cette forme de mercure totalement insoluble; il fallait en plus un oxydant. On a rapidement découvert que le polysulfure (S_n^{-2}), un composé à réactivité appropriée, soluble dans l'eau, convenait parfaitement. Il est

préférable de maintenir un bon équilibre sulfure (S^{-2})-polysulfure afin d'oxyder de façon efficace le mercure métallique en mercure (II), avec précipitation subséquente en sulfure mercurique, tout en éliminant l'ion mercurique existant avec l'ion sulfure, ce qui constitue une réaction plus efficace. L'ion sulfure excédentaire doit être récupéré afin de prévenir la formation d'un complexe de disulfure mercurique soluble (HgS_2^{-2}). Cela se fait à l'aide de l'ion fer-III (Fe^{+}_{3}), comme du chlorure de fer (III) (chlorure ferrique). Il est également important d'éliminer les ions chlore (Cl_2), hypochlorite (OCl^-) et chlorate (ClO_3^-) avant le traitement avec l'agent à base de polysulfure étant donné que ces oxydants puissants oxyderont le sulfure tout en libérant des ions mercuriques. Un agent réducteur, le sulfite de sodium (Na_2SO_3), doit être ajouté avant ou pendant l'addition de l'agent à base de polysulfure. Il est également important de maintenir le pH de l'eau usée et de l'eau polluée entre 9 et 12. Une solution représentative du traitement au polysulfure de sodium est préparée en dissolvant 2 kg de soufre dans 10 l d'eau contenant 0,5 kg de sulfure de sodium et 0,7 kg d'hydroxyde de sodium; cette solution doit toujours être fraîche. L'addition de chlorure ferrique (75 à 10 ppm) permet non seulement de récupérer le sulfure excédentaire, mais aide également à la floculation du sulfure de mercure (II).

Ce traitement pour la récupération du mercure élémentaire contenu dans les eaux usées a été étendu aux boues de saumure provenant des usines de chlore et de soude caustique qui ont généralement une teneur élevée en mercure métallique. Ce traitement est également efficace pour les déchets solides afin de prévenir l'émission de vapeur de mercure élémentaire ou le passage de mercure élémentaire dans les eaux de ruissellement. Un traitement ultérieur par des résines échangeuses d'ions et de charbon actif permet de réduire davantage la teneur en mercure résiduel (*Environ. Sci. Technol.*, 1981). Ces procédés sont expliqués ci-dessous.

Il existe également d'autres méthodes utilisées comme étape finale dans les procédés de traitement courants. Le procédé BMS de Billingsfors Bruks a été conçu avant tout comme étape finale du traitement des eaux usées provenant des usines de chlore et de soude caustique. Ce procédé est utilisé à température et pression ambiantes et permet d'abaisser la teneur de l'effluent à 10 ppb de mercure au moins. Les eaux brutes passent d'abord sur un filtre à sable pour éliminer les argiles, les particules de rouille ou toute autre matière solide. L'effluent est ensuite traité par de l'acide sulfurique (un acide sulfurique épuisé à 50 à 60 p. 100 fourni par le procédé de séchage de l'usine) pour abaisser le pH entre 4 et 5. Du chlore (provenant également de l'usine de chlore) a déjà été ajouté dans le bassin contenant l'effluent. À mesure que le pH est réduit, le chlore oxyde à l'état ionique tout le mercure métallique présent dans les eaux usées. Dans une installation en particulier, il n'est pas nécessaire d'ajouter du chlore car l'acide sulfurique utilisé en contient assez (entre 10 et 50 ppm). Étant donné que le chlore empoisonne l'adsorbant BMS (sélectif pour le mercure ionique), l'eau usée doit ensuite être traitée par du charbon actif pour éliminer tout le chlore libre encore présent. Le liquide est ensuite traité par l'adsorbant BMS qui élimine sélectivement le mercure. L'adsorbant est préparé à partir de charbon actif de la même grosseur que celui utilisé pour éliminer le chlore. Cet adsorbant est rendu sélectif pour le mercure ionique par enrobage de composés sulfurés. Il est destiné à des eaux usées contenant environ 0,1 à 0,5 mg de mercure par litre et a un cycle de vie d'environ un an. Il doit par exemple également convenir dans des eaux usées contenant 5 mg de mercure par litre; il permet d'abaisser cette teneur à environ 0,1 mg/l mais son cycle de vie sera alors automatiquement réduit. Le mercure est éliminé de l'adsorbant par distillation, procédé qui laisse un résidu de carbone inactif qui peut être éliminé en toute sécurité (*Chem. Eng.*, 1975a).

Le procédé Imac TMR est basé sur l'échange d'ions et garantit un effluent contenant 5 ppb de mercure. Il est principalement conçu pour les usines de chlore et de soude caustique mais

peut également servir à d'autres applications. Ce procédé se fait dans des conditions ambiantes. L'eau usée qui doit être nettoyée passe d'abord dans un réacteur d'oxydation avec un léger excès d'hypochlorite de sodium (lessive de $NaOCl^-$) ou de chlore où le mercure métallique est oxydé en mercure ionique. Le pH est stabilisé à environ 3 pour garder tout le fer dans la solution. Cette solution est ensuite filtrée sur un filtre de sable ou en tissu pour éliminer les matières solides et aussi pour retenir et oxyder toutes les gouttelettes de mercure qui auraient survécu à l'étape de l'oxydation. Le liquide est ensuite déchloré dans une colonne d'acier garnie de caoutchouc contenant un charbon actif spécial. Il passe ensuite dans deux bassins semblables contenant une résine échangeuse d'ions. Cette dernière est une résine sélective pour le mercure décrite comme étant un mercaptan polymérique dans lequel les groupes thiols sont liés à une matrice chimiquement inerte et robuste (un copolymère macroporeux de styrène et de divinylbenzène). La résine ne contient aucun composé azoté pour éviter toute formation accidentelle de trichlorure d'azote instable. La vie utile de la résine échangeuse d'ions dépend de la teneur en mercure des eaux usées; par exemple, elle sera de 1000 h avec une eau usée contenant 10 ppm de mercure et de six mois si l'apport n'est que de 1 ppm. Toute teneur excessive en mercure diminue considérablement la vie utile de ces résines. Le débit horaire normal est de 10 volumes d'eau usée par volume de résine. La résine peut être régénérée cinq fois par une solution d'acide chlorhydrique ou un régénérant à propriétés spéciales. La résine épuisée ne contient environ que 100 g de mercure par mètre cube et ne risque pas de s'écouler dans les eaux de pluie ou la saumure. Même épuisée, la résine est considérée comme pouvant toujours éliminer le mercure des eaux souterraines (*Chem. Eng.*„ 1975a).

La soi-disant technique de redistillation permet de purger le mercure et une douzaine d'autres métaux d"effluents comme ceux provenant des épurateurs des gaz résiduels des incinérateurs municipaux, l'eau usée provenant des installations d'électrodéposition de métaux, ou les effluents des usines de chlore et de soude caustique. Les eaux usées sont d'abord mélangées avec un sel de fer-II, généralement du sulfate. Il faut généralement deux moles ou plus de sel par mole de polluants métalliques. Le mélange est neutralisé par de la soude caustique, formant un mélange d'hydroxyde vert foncé:

$$xHg^{++} + Fe^{++}_{(3-x)} + 6OH^- \longrightarrow Hg_xFe_{(3-x)}(OH)_6$$

Suit ensuite l'oxydation par l'air au cours de laquelle il y a redissolution et formation du complexe qui donne de la ferrite noire par la réaction suivante:

$$Hg_xFe_{(3-x)}(OH)_6 + 1/2O_2 \longrightarrow Hg_xFe_{(3-x)}O_4 + 3H_2O$$

Une séparation magnétique permet de récupérer la ferrite ferromagnétique insoluble de la solution ferrite qui peut être réutilisée ou éliminée. Le procédé permet de réduire la teneur en mercure de l'influent de 6 mg/l à 0,005 mg/l et de 7,4 mg/l à 0,001 mg/l dans l'effluent. Les précipités de ferrite ne se redissolvent pas et sont faciles à séparer du liquide étant donné leur granulométrie et leur ferromagnétisme (*Chem. Eng.*, 1975b).

D'autres méthodes décrites comprennent en général la précipitation type du sulfure de mercure au moyen d'un sulfure suivie dans un des cas par un traitement oxydant visant à remettre en solution le mercure métallique résiduel et le sulfure mercurique précipité sous forme d'un complexe de tétrachloromercure-II ($HgCl_4^=$). Ce dernier est ensuite recyclé dans la cellule d'électrolyse de l'usine de chlore et de soude caustique. Un autre traitement de récupération du mercure porte principalement sur le traitement des boues par grillage (*Chem. Eng.*, 1975b).

Le traitement suivant a été étudié pour traiter les effluents industriels et pourrait s'appliquer au nettoyage des déversements de mercure.

Procédé	Pourcentage de récupération*	Procédé	Efficacité maximale de récupération (en %)**
Biologique	51-58	Clarification-décantation	> 99
Coagulation/ précipitation	25-98	Clarification-décantation avec addition d'alun	> 62
Extraction par solvant	99	Clarification-décantation avec addition de produits chimiques (alun, polymère)	88
Adsorption sur charbon actif	80-99	Clarification-décantation avec addition de chaux	> 96
		Clarification-décantation avec addition de $BaCl_2$	87
		Clarification-décantation avec addition de polymère	99
		Clarification-décantation avec addition d'alun, de chaux	71
		Clarification-décantation avec addition de sulfate ferreux, chaux	> 60
		Flottation par air dissous avec addition de chlorure de calcium, polymère	> 90
		Flottation par air dissous avec addition de sulfate ferreux, chaux, polymère	> 64
		Clarification sur lit filtrant	86
		Boues activées	> 87
		Lagunage aéré	> 99
		Osmose inverse	> 60

* TSA, 1980
**EPA, 600/8-80-042E

9.1.5 Élimination du polluant. – Le mercure récupéré ne doit jamais être évacué directement dans un égout ou dans des eaux de surface. Tout mercure récupéré doit être purifié avant d'être réutilisé ou vendu à une compagnie de récupération du mercure (GE, 1977; NRCC, 1979).

9.1.6 Appareils et vêtements de protection. – Lorsque l'on doit pénétrer dans une zone de déversement et que l'on ne connaît ni la nature ni les propriétés du produit déversé, il faut porter un appareil respiratoire autonome et revêtir une combinaison entièrement étanche aux produits chimiques.

S'il s'agit du mercure:

- L'équipe d'intervention doit obligatoirement porter des vêtements et des gants imperméables, une visière d'au moins 20 cm et tout autre pièce de vêtement requise pour prévenir tout risque de contact cutané répété ou prolongé avec le mercure liquide (NIOSH/OSHA, 1981).
- Il est recommandé de porter des gants de caoutchouc (GE, 1977).
- Les vêtements non imperméables souillés par le mercure doivent être retirés immédiatement et ne peuvent être remis tant qu'ils n'ont pas été nettoyés à fond (NIOSH/OSHA, 1981).

Le lecteur trouvera dans le tableau qui suit une liste des éléments minimaux de protection des voies respiratoires que requiert une intervention sur les lieux d'un déversement de mercure inorganique (NIOSH/OSHA, 1981).

Protection respiratoire minimale pour une teneur supérieure à 0,1 mg/m^3

Situation	Équipement*
Mercure en particules ou à l'état de vapeur	
Jusqu'à 1 mg/m^3	N'importe quel type d'appareil isolant à adduction d'air N'importe quel type d'appareil respiratoire autonome
De 1 à 5 mg/m^3	N'importe quel type d'appareil isolant à adduction d'air et comportant un masque couvre-visage, un casque ou une cagoule. N'importe quel type d'appareil respiratoire autonome et comportant un masque couvre-visage
De 5 à 28 mg/m^3	Appareil isolant à adduction d'air, type C, pulmo-commandé à surpression, ou pulmo-commandé à débit constant
Au-delà de 28 mg/m^3 ou pour entrer ou sortir de zones à teneur inconnue	Appareil respiratoire autonome comportant un masque couvre-visage, alimenté par pression sur demande, ou à surpression. Appareil combiné comprenant un appareil à adduction d'air, type C, avec masque couvre-visage, pulmo-commandé à surpression ou à débit constant et un appareil respiratoire autonome auxiliaire à pression sur demande ou à surpression
Lutte contre l'incendie	Appareil respiratoire autonome avec masque couvre-visage, à pression sur demande ou à surpression
Évacuation des lieux	Tout masque à gaz protégeant contre le mercure. Tout appareil respiratoire autonome permettant de fuir un endroit dangereux

*On ne doit utiliser que des appareils approuvés par le NIOSH ou la MSHA

9.1.7 **Précautions spéciales.** – Entreposer le mercure dans de petits contenants scellés (de préférence en polyéthylène) dans un endroit bien aéré. Le mercure ne doit pas être chauffé sans prendre les précautions appropriées pour la manutention sans danger des vapeurs de mercure très toxique (GE, 1977).

9.2 Équipement et produits spécialisés d'intervention

La brève liste qui suit est extraite d'une étude publiée en 1982 par Dillon et elle exclut évidemment beaucoup d'articles parfaitement utilisables au cours des interventions. Le lecteur trouvera dans l'étude citée des renseignements relatifs aux caractéristiques, à l'efficacité et à la disponibilité des articles énumérés.

Récupération de mercure déversé sur le sol: aspirateur à mercure

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

Les informations relatives aux déversements accidentels antérieurs contenues dans la présente section aideront le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversements accidentels de mercure. De tous les cas étudiés, un seul semblait présenter de l'intérêt pour le lecteur. Il est bien évident que ce cas ne traduit ni l'ampleur du problème ni la fréquence des déversements.

10.1 Fuite dans un camion (PC, 1982; HMN, 1981)

Plusieurs bouteilles contenant du mercure se sont brisées dans un camion de livraison lorsque celui-ci a percuté la plate-forme de déchargement de l'université à qui le mercure était destiné. Le mercure s'est répandu sur la plate-forme de bois du camion et une certaine quantité s'est infiltrée dans les interstices et est tombée sur le béton, formant des milliers de petites gouttelettes de mercure. Environ 10 kg de mercure ont été déversés.

Les équipes de nettoyage ont immédiatement barricadé les lieux pour en interdire l'accès au public. Le camion de livraison a été stationné dans un endroit parfaitement plat pour limiter les dégâts et transporté ensuite dans une installation de gestion des déchets, pour décontamination. Le personnel d'intervention portait des vêtements de protection et un appareil respiratoire autonome. Étant donné que le nettoyage du mercure tombé sur le béton a pris plus de temps que prévu, l'équipement de protection utilisé au départ fut remplacé par un système central à adduction d'air qui permettait d'alimenter les ouvriers en air pur par un boyau basse pression. Les vêtements de protection furent remplacés en conséquences. Les gouttelettes de mercure répandues sur le béton ont été recueillies à l'aide de trousses spéciales pour les déversements de mercure et d'un aspirateur à mercure. Le nettoyage a duré environ 15 heures. Le déversement n'a eu aucune répercussion sur l'environnement.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrivent sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte les publications du National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute (ANSI).

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant de matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme (NIOSH, 1977). – Cette méthode permet de déceler la présence de mercure dans l'air à des teneurs variant de 0,001 à 1,0 $\mu g/m^3$ (0,001-0,12 ppb) de mercure total sous forme de particules et de vapeurs de mercure métallique et organique.

Un volume d'air connu est aspiré dans un filtre à membrane précédant un tube d'échantillonnage à phase solide à deux sections, soit une section de 2 mm de Carbosieve B et une section de 5 mm de Chromosorb P argenté. Le débit est généralement de 1 litre par minute. Des temps d'échantillonnage de 10 minutes et une heure respectivement sont suffisants pour mesurer les teneurs plafond et la moyenne pondérée en fonction du temps.

Le filtre à membrane est digéré dans 5 ml d'acide nitrique concentré dans un digesteur en téflon et placé dans une étuve à 150 °C pendant une heure et demie. Après refroidissement, le contenu du digesteur est transféré dans un barboteur. On porte alors le volume de liquide à 75 ml par addition d'eau bidistillée. Un millilitre d'une solution de chlorure stanneux (20 p. 100 en poids de $SnCl_2$ dans du chlorure d'hydrogène 6 *N*) est ajoutée et de l'air est insufflé pendant quatre minutes à raison de 1 à 2 litres par minute, par un tube d'échantillonnage à blanc contenant une seule section de Chromosorb P argenté, branché à la sortie du barboteur. Ce tube est ensuite purgé avec de l'azote sec pur pendant deux minutes à raison de 5 litres par minute et le contenu est analysé en suivant la méthode utilisée pour le mercure métallique (dans les mêmes conditions que pour le contenu du tube d'échantillonnage principal à phase solide). Le contenu des deux sections du tube d'échantillonnage à phase solide est analysé de façon indépendante en désorbant thermiquement le mercure qui passe à travers la cellule d'absorption d'un spectrophotomètre d'absorption atomique sans flamme. L'absorption est mesurée à 253,7 nm. Dans le cas du contenu du filtre à membrane et du tube d'échantillonnage à deux sections, des courbes d'étalonnage standard et un enregistreur de signaux approprié sont utilisés pour quantifier le mercure. Cette méthode analytique relativement simple est préférable vu qu'elle permet de mesurer les trois formes de mercure.

11.2 Dosage du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

Le mercure dans l'air peut être dosé à l'aide d'un tube absorbant de Drager pour les vapeurs de mercure. Un volume d'air est aspiré dans le tube à l'aide d'une pompe Drager pour la détection de gaz. Si la couche réactive jaune pâle du tube de Drager devient orange, l'air contient des vapeurs de mercure. Cette méthode convient également pour l'analyse quantitative selon le nombre d'aspirations (Drager, 1979).

11.3 Dosage du polluant dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Absorption atomique (méthode à froid) (ASTM, 1979). – Par cette méthode, on peut doser le mercure total dans l'eau à des teneurs comprises entre 0,2 et 10,0 μg/l (ppb). Cette méthode peut s'appliquer aux eaux douces et salées, ainsi qu'aux effluents des usines et des réseaux d'égouts. Les dérivés inorganiques et organiques du mercure peuvent être mesurés mais ils doivent d'abord être convertis en ions mercuriques.

L'échantillon est prélevé dans un contenant en verre lavé à l'acide ou dans des contenants de polyéthylène à forte densité. Immédiatement après le prélèvement de l'échantillon, ce dernier est traité par de l'acide nitrique pour abaisser le pH à 2 ou moins.

Introduire 100 ml d'eau à analyser dans un flacon de réaction (l'échantillon ne doit contenir environ que 1 μg de mercure). Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré et 2,5 ml d'acide nitrique, et mélanger. Ajouter une quantité suffisante (15 ml au moins) de solution de permanganate de potassium à 5 p. 100 (en poids) ($KMNO_4$) pour que la coloration pourpre persiste pendant au moins 15 minutes. Introduire alors 8 ml d'une solution de sulfate de potassium à 5 p. 100 (en poids) et chauffer la solution pendant deux heures dans un bain-marie chauffé à 95 °C. Laisser refroidir la solution et ajouter 6 ml d'une solution de chlorure de sodium-sulfate d'hydroxylamine ($NaCl·(NH_2OH)2H_2SO_4$) à 12 p. 100 poids/volume. Cela permet de réduire l'excès de permanganate observable par la décoloration de la solution. Une solution de sulfate stanneux est préparée en dissolvant 100 g de sulfate stanneux dans 14 ml d'acide sulfurique concentré; compléter à un litre avec de l'eau distillée. Un volume de 5 ml de cette solution ($SnSO_4$) est ajouté à la solution d'échantillon 30 secondes après l'addition du mélange chlorure de sodium-sulfate d'hydroxylamine. Le dosage s'effectue immédiatement par absorption atomique sans flamme (méthode à froid) à 253,7 nm, en se rapportant à la courbe d'étalonnage.

11.4 Caractérisation du mercure présent dans l'eau (analyse qualitative)

11.4.1 Ions mercureux (Welcher, 1955). – L'échantillon est prélevé tel qu'indiqué en 11.3, excepté qu'on n'ajoute pas d'acide nitrique. Un volume approprié de l'échantillon à analyser est traité par de l'hydroxyde d'ammonium (1 volume d'hydroxyde d'ammonium concentré dans 1,5 volume d'eau). La formation d'un précipité noir indique la présence de mercure. Le précipité est du mercure métallique (noir) avec du $Hg(NH_2)Cl$ (blanc).

11.4.2 Ions mercureux et mercuriques (Welcher, 1955). – On peut procéder différemment. L'échantillon est prélevé tel qu'indiqué en 11.3, mais sans addition d'acide nitrique. La surface d'une pièce de cuivre est nettoyée avec de l'acide nitrique 6 *M*. L'acide nitrique est ensuite enlevé par lavage et quatre gouttes de l'échantillon et deux gouttes d'acide nitrique 6 *M* sont placées sur la surface ainsi nettoyée. Après cinq minutes, la pièce est nettoyée avec de l'eau et essuyée avec un linge. Si la pièce est argentée et brillante, l'échantillon analysé contient du mercure. Cette méthode indique à la fois la présence d'ions mercureux et d'ions mercuriques.

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Méthode colorimétrique (Hesse, 1972). – La méthode qui suit permet d'identifier la présence de mercure dans le sol (teneurs allant de 0 à 0,25 μg).

Un échantillon de 40 g de sol, à granulométrie de 0,15 mm, est placé dans un ballon à distillation de 500 ml, à deux tubulures, avec 0,1 g de poudre de sélénium. L'appareil à distiller comporte un ballon à fond rond, à deux tubulures, l'une pour raccord au réfrigérant à serpentin, l'autre pour le robinet d'admission de gaz (équipé d'une entrée d'air). Tout le gaz introduit passe par un barboteur à gaz contenant de l'acide sulfurique (d = 1,84). La partie supérieure du réfrigérant est reliée à un réfrigérant à eau à double surface lui-même raccordé à un autre ballon à deux tubulures. Ce dernier est relié à deux tubes en U contenant suffisamment d'eau pour remplir les creux. L'ensemble de tubes en U est branché à une trompe à eau. Introduire 50 ml d'acide sulfurique concentré et 5 ml d'acide nitrique concentré. Le mélange est digéré pendant deux heures, puis mijoté pendant 30 minutes. Refroidir. Le réfrigérant est rincé lentement avec 40 ml d'eau en agitant continuellement. Le ballon est relié à l'appareil de distillation et 50 ml d'acide sulfurique concentré sont introduits. Un faible courant d'air doit être aspiré à travers ce système à l'aide d'une trompe à eau et d'un système d'entrée d'air partiellement ouvert. Le ballon est chauffé doucement jusqu'à ce que les deux tiers de l'eau soient distillés. Avec le système d'entrée d'air encore partiellement ouvert, faire passer un courant de chlorure d'hydrogène gazeux dans le ballon à raison de 30 ml/mn. Poursuivre la distillation pendant deux heures et refroidir le distillat. Le réfrigérant et les tubes en U sont rincés avec de l'eau, et les eaux de rinçage sont ajoutées au distillat. Le volume final est d'environ 125 ml. Le distillat est filtré sur du papier Whatman 541 dans un bécher gradué de 600 ml et neutralisé à l'aide d'une solution d'hydroxyde d'ammonium concentré. De l'acide chlorhydrique concentré est ajouté jusqu'à ce que le mélange devienne à peine acide; ajouter alors 10 ml de métabisulfite de sodium $Na_2S_2O_5$-pyrosulfite) (20 p. 100 en poids) et mélanger. Une solution tampon est préparée en mélangeant 50 ml de solution d'acétate de sodium 1 *M* et 13 ml d'acide chlorhydrique 1 *M* et en la diluant à 250 ml. Prélever 25 ml de cette solution tampon et l'introduire avec 5 ml d'EDTA (acide éthylènediaminotétraacétique) (47 p. 100 en poids du sel de disodium) dans le mélange. Brasser. Porter le volume à 250 ml d'eau et ajuster le pH à 5. La solution est ensuite transférée dans une ampoule à décantation et extraite avec 10 ml d'une solution de dithizone. [Celle-ci est préparée en dissolvant 0,05 g de dithizone dans 20 ml de tétrachlorure de carbone. Filtrer puis extraire avec 100 ml d'hydroxyde d'ammonium à 5 p. 100. La couche alcaline est lavée à deux reprises avec 5 ml de tétrachlorure de carbone puis acidifiée par de l'acide chlorhydrique; ajouter 5 ml d'une solution de chlorhydrate d'hydroxylamine (20 p. 100 poids/volume). La solution de dithizone est extraite avec 100 ml de tétrachlorure de carbone; la couche organique est lavée à deux reprises avec 15 ml d'eau et placée au réfrigérateur. Juste avant utilisation, diluer la solution mère avec 10 volumes de tétrachlorure de carbone.][La solution de chlorhydrate d'hydroxylamine est préparée en extrayant une solution de 20 p. 100 poids/volume avec une solution de dithizone diluée jusqu'à ce que l'extrait soit incolore après élimination du dithizone excédentaire par de l'hydroxyde d'ammonium à 5 p. 100. Toute quantité résiduaire de dithizone est extraite par du tétrachlorure de carbone jusqu'à ce que deux solutions de lavage successives soient incolores. La solution est filtrée sur du papier Whatman 541 pour éliminer toute trace de tétrachlorure de carbone.] Placer l'extrait de l'ampoule à décantation dans une ampoule à décantation de 100 ml contenant 25 ml d'acide chlorhydrique 0,1 *M*. L'échantillon provenant de l'ampoule à décantation originale est extrait avec deux fois 5 ml de dithizone; tous les extraits sont combinés dans l'éprouvette à décantation de 100 ml. L'extrait ainsi obtenu est

extrait une troisième fois avec 5 ml de dithizone; l'extrait change de couleur s'il y a présence de mercure; dans ce cas, l'ajouter dans l'ampoule à décantation de 100 ml. Ajouter 5 ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et agiter pendant une minute. Transférer la couche organique dans une deuxième ampoule à décantation de 100 ml contenant 50 ml d'acide chlorhydrique 0,1 *M*. Y ajouter la couche aqueuse de l'extraction du chlorhydrate d'hydroxylamine préalablement lavée avec 5 ml de tétrachlorure de carbone. Ajouter tout en agitant 2 ml de thiosulfate de sodium (1,5 p. 100 poids/volume). Jeter la couche de tétrachlorure de carbone et extraire la couche aqueuse à deux reprises avec 3 ml de tétrachlorure de carbone. Ajouter aux couches aqueuses 3 ml d'une solution d'hypochlorite de sodium contenant 5 p. 100 de chlore libre. Agiter pendant une minute; le chlore qui se dégage est expulsé et la solution est à nouveau agitée, puis extraite à deux reprises avec 3 ml de tétrachlorure de carbone. Jeter les extraits.

Ajouter 20 ml d'une solution tampon d'acétate de sodium 1 *M* et 5 ml d'une solution d'EDTA et mélanger. Introduire 5 ml de tétrachlorure de carbone plus 1 ml d'une solution de dithizone. Après agitation vigoureuse, la couche organique est incorporée dans une ampoule à décantation de 100 ml, propre. La couche aqueuse est extraite une nouvelle fois avec 5 ml de tétrachlorure de carbone et quelques gouttes de solution de dithizone et la couche organique obtenue est ajoutée à la première. On les extrait à deux reprises avec 5 ml d'une solution d'hydroxyde d'ammonium à 5 p. 100 pour éliminer le dithizone excédentaire. L'extrait de tétrachlorure de carbone est séché sur du sulfate de sodium anhydre et on complète jusqu'au trait avec du tétrachlorure de carbone anhydre dans une fiole jaugée de 25 ml en verre faiblement actinique. Le coefficient d'absorption est lu à 490 nm, avec un spectrophotomètre approprié et le mercure est dosé à l'aide d'une courbe normalisée.

11.6 Dosage du polluant dans le sol (analyse qualitative)

L'échantillon est préparé tel qu'indiqué en 11.5.1. La surface d'une pièce de cuivre métallique est lavée à l'acide nitrique 6 *M*. L'acide nitrique est ensuite enlevé par lavage et quatre gouttes d'échantillon de sol préparé plus deux gouttes d'acide nitrique 6 *M* sont déposées sur la surface ainsi nettoyée. Après cinq minutes, rincer avec de l'eau et essuyer avec un linge. Si la pièce de cuivre a pris un aspect argenté et brillant, le sol contient du mercure (Welcher, 1955).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

Allsopp 1977: Allsopp, H.J., A Chemical Treatment for Mercury Accidentally Spilled in Aircraft, Royal Aircraft Establishment, Farnborough, Hants, U.K., Reference RAE TR 77014. (January, 1977).

AMC: Astro Metallurgical Corp., Corrosion Resistance Chart for Ti, Zr, Ta, Form No. GL-77-IR, Wooster, OH. Not dated.

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, p. 433, D3223-73. (1979).

AWQC 1983: Ambient Water Quality Criteria for Mercury, Revised Section B, Draft, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (19 August 1983).

Blokker 1971: Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, Presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy. (November, 1971).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Brummond 1971: Brummond, R.A., Spoor, W.A., A Method for Recording the Respiration of Free-Swimming Animals to Toxicants and Delaware Environmental Conditions, Presented before Water, Air, and Waste Chemistry Division, American Chemical Society, Washington, DC. (September 13, 1971).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

CCD 1977: Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, Ninth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1977).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

CE 1980a: Gallagher, R., "Beat Corrosion with Rubber Hose", Chemical Engineering, pp. 105-118. (September 8, 1980).

CE 1980b: Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 86-131. (November 3, 1980).

Chan 1978: Chan, K.K., "Chronic Effects of Methylmercury on the Reproduction of the Teleost Fish, *Oryzias latipes*", Dissertation Abs., Vol. 39. (1978).

Chapman 1982: Chapman, P.M., Farrell, M.A., Brinkhurst, R.O., "Relative Tolerances of Selected Aquatic Oligochaetes to a Combination of Pollutants and Environmental Factors", Aquatic Toxicology, Vol. 2, pp. 69-78. (1982).

Chem. Eng. 1975a: Iammartino, R., "Mercury Cleanup Routes-II", Process Technology Chemical Engineering, pp. 36-37. (February 3, 1975).

Chem. Eng. 1975b: Rosenzweig, M.D., "Mercury Cleanup Routes-I", Process Technology Chemical Engineering, pp. 60-61. (January 20, 1975).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978).

CMR 1979: Hogan, J.J., "Mercury", Canadian Mineral Reviews, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Canada. (1979).

Coates 1960: Coates, G.E., Organo-Metallic Compounds, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. (1960).

Cotton 1972: Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience Publishers, New York, NY. (1972).

CPTE 1974: Considine, D.M. (ed.), Chemical and Process Technology Encyclopedia, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1974).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

CRC 1982: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 62nd Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1982).

CSC 1978: Canadian Safety Council, Data Sheet: Occupational Safety and Health No. C-Z, "Mercury", Occupational Section of the Canada Safety Council, Ottawa, Ontario. (1978).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Deshmukh 1980: Deshmukh, S.S., Morathe, V.B., "Size Related Toxicity of Copper and Mercury to *Lebistes Reticulatus* (Petes), *Labeo Rohita* (Ham.) and *Cyprinus Carpio* (Linn.)", Indian J. Exp. Biol., Vol. 18, pp. 421-423. (April, 1980).

Dial 1978: Dial, N.A., "Methylmercury: Some Effects of Embryogenesis in Japanese Medaka (*Oryzias latipes*)", Teratology, Vol. 17, p. 83. (1978).

Dillon 1977: Dillon, T.M., "Mercury and the Estuarine Marsh Clam (*Rangia Cuneata*, Gray. I) Toxicity", Arch Environ. Contam. Toxicol., Vol. 6, pp. 249-255. (1977).

Dillon 1982: M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

D'Itri 1977: D'Itri, P., "Mercury Removal from the Waterways", Mercury Contamination: A Human Tragedy, Wiley Interscience Publishers, New York. (1977).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

Doull 1980: Doull, J., Klaassen, C.D., Amdur, M.O., Casarett's and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, Second Edition, Collier Macmillan Canada Inc., Toronto, Ontario. (1980).

DPIMR 1981: Dangerous Properties of Industrial Materials Report. (January/February, 1981).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, Fourth Edition, Lubeck, Germany, p. 101. (1979).

Dreisbach 1980: Dreisbach, R.H., Handbook of Poisoning: Prevention, Diagnosis, and Treatment, Tenth Edition, Lange Medical Publications, Los Altos, CA. (1980).

Eisler 1977: Eisler, R., Henneky, R.J., "Acute Toxicities of Cd^{2+}, Cr^{+6}, Hg^{2+}, Ni^{2+}, and Zn^{2+} to Estuarine Macrofauna", Arch. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 6, pp. 315-323. (1977).

Environ. Sci. Technol. 1981: Findlay, M., et al., "Removal of Elemental Mercury from Waste Waters Using Polysulphides", Environ. Sci. Technol., Vol. 15, No. 11, pp. 1388-1390. (November, 1981).

EPA 440/9-75-009: Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, DC, EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

EPA 600/8-80-042E: Treatability Manual, Volume V, Summary, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC, EPA 600/8-80-042E, PB 86-2230092. (July, 1980).

EPA 600/J-79-073: Spehar, R.L., et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Duluth, MN. (Published in J. Water Pollution Control Federation, Vol. 51, No. 6, pp. 1616-1694 (1979); EPA 600/J-79-073, PB 80-177744. (1979).

EPA 660/2-77-239: Pajak, A.P., Martin, E.J., Brinsko, G.A., Erny, F.J., Effect of Hazardous Material Spills on Biological Treatment Processes, Prepared for Industrial Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. (December, 1977).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042, PB 243-386. (June, 1975).

EPS 1979: Sherbin, I.G., Mercury in the Canadian Environment, Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa, Ontario. (April, 1979).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

FMT: Futura Metal Technology, Corrosion Data Sheet, Westlake Village, CA. Not dated.

Freeze and Cherry 1979: Freeze, R.A., Cherry, J.A., Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. (1979).

GAC: Gale Alloy Corp., Corrosion Resistance Data, Catalog No. 1280, Amityville, NY. Not dated.

GE 1977: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (January, 1977).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA. Not dated.

Goldwater 1972: Goldwater, L.J., Mercury - A History of Quicksilver, York Press, Baltimore, MD. (1972).

GPP: Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN. Not dated.

Guidelines/Canadian/Water 1978: Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

Haga 1970: Haga, Y., Haga, H., Hagins, T., Kuriya, T., "Studies on the Post Mortem Identification of the Pollutant XII. Acute Poisoning with Mercury", Bull. Japanese Soc. Scientific Fisheries, Vol. 36, No. 3, pp. 225-231. (1970).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 410-413. (1972).

Hilmy 1981: Hilmy, A.M., Shabana, M.B., Saied, M., "A Comparative Study of Mercury Poisoning on *Aphanius Dispar* (Teleostei), *Sergestas Lucens* (Crustacea) and *Modiolus Modiolus* (Mollusca) of the Red Sea", Comp. Biochem. Physiol., Vol. 68C, pp. 199-204. (1981).

HMN 1981: Hazardous Materials Newsletter, Barre, VT, p. 5. (4 January 1981).

HMR 1978: Association of American Railroads, Hazardous Materials Regulations of the Department of Transportation, Washington, DC. (1978).

Humphreys 1978: Humphreys, D.J., "A Review of Recent Trends in Animal Poisoning", Br. Vet. J., Vol. 134, pp. 128-145. (1978).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC. (June, 1971).

Johnson 1979: Johnson, M.W., Gentile, J.H., "Acute Toxicity of Cadmium, Copper and Mercury to Larval American Lobster, *Homarus Americanus*", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 22, pp. 258-264. (1979).

Jones 1969: Jones, J.R.E., Fish and River Pollution, Butterworths, London, England. (1969).

Jorgensen 1979: Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England. (1979).

Joshi 1980: Joshi, A.G., Rege, M.S., "Acute Toxicity of Some Pesticides and a Few Inorganic Salts to the Mosquito Fish, *Gambusia Affinis*", Indian J. Exp. Biol., Vol. 18, pp. 435-437. (April, 1980).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY. (1979).

Keller 1983: J.J. Keller and Associates, Inc., Hazardous Materials Guide, Neerah, WI. (1983).

Kirk-Othmer 1981: Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 15, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1981).

Klein 1957: Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York, NY. (1957).

Klusman 1983: Klusman, R.W., Matoske, C.P., "Adsorption of Mercury by Soils from Oil Shale Development Areas in the Piceance Creek Basin of Northwestern Colorado", Environ. Sci. Technol., Vol. 17, No. 5, pp. 251-256. (1983).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1979).

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents -For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA. (1980).

Linke 1958: Linke, W.F., "Solubilities - Inorganic and Metal-Organic Compounds", 4th Edition, Vol. 1, American Chemical Society, Washington, DC. (1958).

Merck 1976: Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M.N. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ. (1976).

MHSSW 1976: North Atlantic Treaty Organization (NATO), Manual on Hazardous Substances in Special Wastes, Federal Environmental Agency, Waste Management Division, Berlin, West Germany. (October, 1976).

MPP 1970: Chadwick, M.D., "Problems of Dealing with Spilled Mercury", Materials Protection and Performance, Vol. 9, No. 6. (June, 1970).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Agency, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

NIOSH 1973: National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Mercury, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH. (1973).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Part 1, Vol. 1, Cincinnati, OH, P&CAM 175. (April, 1977).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

NRCC 1979: National Research Council of Canada, Effects of Mercury in the Canadian Environment, NRCC No. 16739, Ottawa, Canada. (1979).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC. (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Panigrahi 1978: Panigrahi, A.K., Misra, B.N., "Toxicological Effects of Mercury on a Freshwater Fish, *Anabas Scandens* and their Ecological Implications", Environ. Pollut., Vol. 16, p. 31. (1978).

Panigrahi 1980: Panigrahi, A.K., Misra, B.N., "Toxicological Effects of a Sub-Lethal Concentration of Inorganic Mercury of the Freshwater Fish (*Tilapia Mossambica*, Peters)", Arch. Toxicol., Vol. 44, pp. 269-278. (1980).

Patty 1981: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

PC 1982: Personal Communication, IT Corporation, San Diego, CA. (17 June 1982).

PC 1984: Personal communication, Dr. Wigfield, Carleton University, Ottawa, Ontario. (April 4, 1984).

Perry 1973: Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1973).

Portman 1970: Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (September, 1970).

PTP 1980: Sittig, M. (ed.), Priority Toxic Pollutants, Health Impacts and Allowable Limits, Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ, pp. 266-271. (1980).

QCW 1976: Quality Criteria for Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (July, 1976).

Rabenstein 1978: Rabenstein, D.L., "The Chemistry of Methylmercury Toxicology", J. Chemical Education, Vol. 55, pp. 292-296. (May, 1978).

RLM 1984: McKenny, R.L., Personal Notes, "Metallurgical Properties of Metals". (1984).

Roales 1977: Roales, R.R., Perlmutter, A., "The Effects of Sublethal Doses of Methylmercury and Copper, Applied Singly and Jointly, on the Immune Response of the Blue Gourami (*Trichogaster Trichopterus*) to Viral and Bacterial Antigens", Arch. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 5, p. 325. (1977).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC. (1977).

RTDCR 1974: Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Canadian Transport Commission, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Schroeder 1982: Schroeder, W.H., "Sampling and Analysis of Mercury and its Components in the Atmosphere", Environ. Sci. Technol., Vol. 16, No. 7, pp. 394A-400A. (1982).

SFC 1981: Standard Fittings Co., Corrosion Resistance Chart, Opelousas, LA. (June, 1981).

Sharpe 1977: Sharpe, M.A., et al., "The Effect of Body Size on Methylmercury Clearance by Goldfish (*Carassius Auratus*)", Environ. Biol. Fish., Vol. 2, p. 177. (1977).

Shaw 1967: Shaw, W.H.R., Grushkin, B., "The Toxicity of Metal Ions to Aquatic Organisms", Arch. Biochem. Biophys., Vol. 67, No. 2, pp. 452-477. (1967).

Sittig 1981: Sittig, M., Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals, "Mercury - Elemental", Noyes Publications, Park Ridge, NJ. (1981).

Spehar 1981: Spehar, R.L., Lemke, A.E., et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 53, No. 6, pp. 1028-1076. (June, 1981).

Stahl 1969: Stahl, Q.R., Air Pollution Aspects of Mercury and its Compounds, U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, Bethesda, MD. (September, 1969).

Stoneburner 1978: Stoneburner, D.L., "Heavy Metals in Tissues of Stranded Short-Finned Pilot Whales", Science of the Total Environment, Vol. 9, pp. 293-297. (1978).

Tataryn 1982: Tataryn, L., "River Mercury May Be Recovered", Globe and Mail, Toronto, Ontario. (28 April 1982).

TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

Thibodeaux 1979: Thibodeaux, L.J., Chemodynamics - Environmental Movement of Chemicals in Air, Water and Soil, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1979).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA. (1978).

TSA 1980: Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., Osheka, J.W., Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA. (1980).

Warnick 1969: Warnick, S.L., Bell, H.L., "The Acute Toxicity of Some Heavy Metals to Different Species of Aquatic Insects", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 41, No. 2, Part 1. (February, 1969).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Weis 1978: Weis, P., Weis, J.S., "Methylmercury Inhibition of Fin Regeneration in Fishes and Its Interaction with Salinity and Cadmium", Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 6, p. 327. (1978).

Welcher 1955: Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ., pp. 368, 434. (1955).

WHO 1976: "Mercury", Environmental Health Criteria 1, World Health Organization, Geneva. (1976).

Wilber 1969: Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, IL. (1969).

WPCRS 1972: Suggs, J.D., et al., Mercury Pollution Control in Stream and Lake Sediments, 16080 HTD-03/72, Office of Research and Monitoring, U.S. Environmental Protection Agency. (March, 1972).

WQC 1971: Water Quality Criteria Data Book - Vol. 3, Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (May, 1971).

WQC 1972: National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972: A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC. (1972).

WQC 1973: Kemp, H.T., et al., Water Quality Criteria Data Book - Vol. 5, Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (September, 1973).

WQCDB-1 1970: Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 1. (1970).

12.2 Bibliographie

Allsopp, H.J., A Chemical Treatment for Mercury Accidentally Spilled in Aircraft, Royal Aircraft Establishment, Farnborough, Hants, U.K., Reference RAE TR 77014. (January, 1977).

Ambient Water Quality Criteria for Mercury, Revised Section B, Draft, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (19 August 1983).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, p. 433, D3223-73. (1979).

Association of American Railroads, Hazardous Materials Regulations of the Department of Transportation, Washington, DC. (1978).

Astro Metallurgical Corp., Corrosion Resistance Chart for Ti, Zr, Ta, Form No. GL-77-IR, Wooster, OH. Not dated.

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, Presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy. (November, 1971).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Brummond, R.A., Spoor, W.A., A Method for Recording the Respiration of Free-Swimming Animals to Toxicants and Delaware Environmental Conditions, Presented before Water, Air, and Waste Chemistry Division, American Chemical Society, Washington, DC. (September 13, 1971).

Canadian Safety Council, Data Sheet: Occupational Safety and Health No. C-Z, "Mercury", Occupational Section of the Canada Safety Council, Ottawa, Ontario. (1978).

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Chadwick, M.D., "Problems of Dealing with Spilled Mercury", Materials Protection and Performance, Vol. 9, No. 6. (June, 1970).

Chan, K.K., "Chronic Effects of Methylmercury on the Reproduction of the Teleost Fish, *Oryzias Latipes*", Dissertation. Abs., Vol. 39. (1978).

Chapman, P.M., Farrell, M.A., Brinkhurst, R.O., "Relative Tolerances of Selected Aquatic Oligochaetes to a Combination of Pollutants and Environmental Factors", Aquatic Toxicology, Vol. 2, pp. 69-78. (1982).

Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Coates, G.E., Organo-Metallic Compounds, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. (1960).

Considine, D.M. (ed.), Chemical and Process Technology Encyclopedia, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1974).

Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience Publishers, New York, NY. (1972).

Dangerous Properties of Industrial Material Report. (January/February, 1981).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1979).

Deshmukh, S.S., Morathe, V.B., "Size Related Toxicity of Copper and Mercury to *Lebistes Reticulatus* (Petes), *Labeo Rohita* (Ham.) and *Cyprinus Carpio* (Linn.)", Indian J. Exp. Biol., Vol. 18, pp. 421-423. (April, 1980).

Dial, N.A., "Methylmercury: Some Effects of Embryogenesis in Japanese Medaka (*Oryzias Latipes*)", Teratology, Vol. 17, p. 83. (1978).

M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

Dillon, T.M., "Mercury and the Estuarine Marsh Clam, (*Rangia Cuneata*, Gray. I) Toxicity", Arch Environ. Contam. Toxicol., Vol. 6, pp. 249-255. (1977).

D'Itri, P., "Mercury Removal from the Waterways", Mercury Contamination: A Human Tragedy, Wiley Interscience Publishers, New York. (1977).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Doull, J., Klaassen, C.D., Amdur, M.O., Casarett's and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, Second Edition, Collier Macmillan Canada Inc., Toronto, Ontario. (1980).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Dreisbach, R.H., Handbook of Poisoning: Prevention, Diagnosis, and Treatment, Tenth Edition, Lange Medical Publications, Los Altos, CA. (1980).

Eisler, R., Henneky, R.J., "Acute Toxicities of Cd^{2+}, Cr^{+6}, Hg^{2+}, Ni^{2+}, and Zn^{2+} to Estuarine Macrofauna", Arch. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 6, pp. 315-323. (1977).

Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

Findlay, M., et al., "Removal of Elemental Mercury from Waste Waters Using Polysulphides", Environ. Sci. Technol., Vol. 15, No. 11, pp. 1388-1390. (November, 1981).

Freeze, R.A., Cherry, J.A., Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. (1979).

Futura Metal Technology, Corrosion Data Sheet, Westlake Village, CA. Not dated.

Gallagher, R., "Beat Corrosion with Rubber Hose", Chemical Engineering, pp. 105-118. (September 8, 1980).

Gale Alloy Corp., Corrosion Resistance Data, Catalog No. 1280, Amityville, NY. Not dated.

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (January, 1977).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA. Not dated.

Goldwater, L.J., Mercury - A History of Quicksilver, York Press, Baltimore, MD. (1972).

Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 15, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1981).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA. (1978).

Haga, Y., Haga, H., Hagins, T., Kuriya, T., "Studies on the Post Mortem Identification of the Pollutant XII. Acute Poisoning with Mercury", Bull. Japanese Soc. Scientific Fisheries, Vol. 36, No. 3, pp. 225-231. (1970).

Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, Ninth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1977).

Hazardous Materials Newsletter, Barre, VT., p. 5. (4 January 1981).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 410-413. (1972).

Hilmy, A.M., Shabana, M.B., Saied, M., "A Comparative Study of Mercury Poisoning on *Aphanius Dispar* (Teleostei), *Sergestas Lucens* (Crustacea) and *Modiolus Modiolus* (Mollusca) of the Red Sea", Comp. Biochem. Physiol., Vol. 68C, pp. 199-204. (1981).

Hogan, J.J., "Mercury", Canadian Mineral Reviews, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Canada. (1979).

Humphreys, D.J., "A Review of Recent Trends in Animal Poisoning", Br. Vet. J., Vol. 134, pp. 128-145. (1978).

Iammartino, R., "Mercury Cleanup Routes-II", Process Technology Chemical Engineering, pp. 36-37. (February 3, 1975).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY. (1979).

Johnson, M.W., Gentile, J.H., "Acute Toxicity of Cadmium, Copper and Mercury to Larval American Lobster, *Homarus Americanus*", Bull. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 22, pp. 258-264. (1979).

Jones, J.R.E., Fish River Pollution, Butterworths, London, England. (1969).

Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England. (1979).

Joshi, A.G., Rege, M.S., "Acute Toxicity of Some Pesticides and a Few Inorganic Salts to the Mosquito Fish, *Gambusia Affinis*", Indian J. Exp. Biol., Vol. 18, pp. 435-437. (April, 1980).

J.J. Keller, and Associates, Inc., Hazardous Materials Guide, Neerah, WI. (1983).

Kemp, H.T., et al., Water Quality Criteria Data Book - Vol. 5, Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (September, 1973).

Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 86-131. (November 3, 1980).

Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York, NY. (1957).

Klusman, R.W., Matoske, C.P., "Adsorption of Mercury by Soils from Oil Shale Development Areas in the Piceance Creek Basin of Northern Colorado", Environ. Sci. Technol., Vol. 17, No. 5, pp. 251-256. (1983).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA. (1980).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, Fourth Edition, Lubeck, Germany, p. 101. (1979).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vol. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Linke, W.F., "Solubilities - Inorganic and Metal-Organic Compounds", 4th Edition, Vol. 1, American Chemical Society, Washington, DC. (1958).

McKenney, R.L., Personal Notes, "Metallurgical Properties of Metals". (1984).

National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972: A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC. (1972).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

National Fire Protection Agency, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Part 1, Vol. 1, Cincinnati, OH, P&CAM 175. (April, 1977).

National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Mercury, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH. 1973).

National Research Council of Canada, Effects of Mercury in the Canadian Environment, NRCC No. 16739, Ottawa, Canada. (1979).

North Atlantic Treaty Organization (NATO), Manual on Hazardous Substances in Special Wastes, Federal Environmental Agency, Waste Management Division, Berlin, West Germany. (October, 1976).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC. (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Pajak, A.P., Martin, E.J., Brinsko, G.A., Erny, F.J., Effect of Hazardous Material Spills on Biological Treatment Processes, Prepared for Industrial Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. (December, 1977).

Panigrahi, A.K., Misra, B.N., "Toxicological Effects of Mercury on a Freshwater Fish, *Anabas Scandens* and Their Ecological Implications", Environ. Pollut., Vol. 16, p. 31. (1978).

Panigrahi, A.K., Misra, B.N., "Toxicological Effects of a Sub-Lethal Concentration of Inorganic Mercury of the Freshwater Fish (*Tilapia Mossambica*, Peters)", Arch. Toxicol., Vol. 44, pp. 269-278. (1980).

Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1973).

Personal Communication, IT Corporation, San Diego, CA. (17 June 1982).

Personal Communication, Dr. Wigfield, Carleton University, Ottawa, Ontario. (April 4, 1984).

Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042, PB 243-386. (June, 1975).

Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N.Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (September, 1970).

Quality Criteria for Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (July, 1976).

Rabenstein, D.L., "The Chemistry of Methylmercury Toxicology", J. Chemical Education, Vol. 55, pp. 292-296. (May, 1978).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Roals, R.R., Perlmutter, A., "The Effects of Sublethal Doses of Methylmercury and Copper Applied Singly and Jointly, on the Immune Response of the Blue Gourami (*Trichogaster Trichopterus*) to Vital and Bacterial Antigens", Arch. Environ. Contam. Toxicol., Vol. 5, p. 325. (1977).

Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC. (1977).

Rosenzweig, M.D., "Mercury Cleanup Routes-1", Process Technology Chemical Engineering, pp. 60-61. (January 20, 1975).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Schroeder, W.H., "Sampling and Analysis of Mercury and its Components in the Atmosphere", Environ. Sci. Technol., Vol. 16, No. 7, pp. 394A-400A. (1982).

Sharpe, M.A., et al., "The Effect of Body Size on Methylmercury Clearance by Goldfish (*Carassius Auratus*)", Environ. Biol. Fish., Vol. 2, p. 177. (1977).

Shaw, W.H.R., Grushkin, B., "The Toxicity of Metal Ions to Aquatic Organisms", Arch. Biochem. Biophys., Vol. 67, No. 2, pp. 452-477. (1967).

Sherbin, I.G., Mercury in the Canadian Environment, Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa, Ontario. (April, 1979).

Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., Osheka, J.W., Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA. (1980).

Sittig, M. (ed.), Priority Toxic Pollutants, Health Impacts and Allowable Limits, Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ, pp. 266-271. (1980).

Sittig, M., Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals, "Mercury - Elemental", Noyes Publications, Park Ridge, NJ. (1981).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

Spehar, R.L., et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Duluth, MN (Published in J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 51, No. 6, pp. 1616-1694. (1979); EPA 600/J-79-073, PB 80-177744. (1979).

Spehar, R.L., Lemke, A.E., et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 53, No. 6, pp. 1028-1076. (June, 1981).

Stahl, Q.R., Air Pollution Aspects of Mercury and its Compounds, U.S. Dept. of Health Education and Welfare, Bettesda, MD. (September, 1969).

Standard Fittings Co., Corrosion Resistance Chart, Opelousas, LA. (June, 1981).

Stoneburner, D.L., "Heavy Metals in Tissues of Stranded Short-Finned Pilot Whales", Science of the Total Environment, Vol. 9, pp. 293-297. (1978).

Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC. (June, 1971).

Suggs, J.D., et al., "Mercury Pollution Control in Stream and Lake Sediments", 16080 HTD-03/72, Office of Research and Monitoring, U.S. Environmental Protection Agency. (March, 1972).

Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, DC, EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

Tataryn, L., "River Mercury May Be Recovered", Globe and Mail, Toronto, Ontario. (28 April 1982).

Thibodeaux, L.J., Chemodynamics - Environmental Movement of Chemicals in Air, Water and Soil, John Wiley & Sons Inc., New York, NY. (1979).

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

Treatability Manual, Volume V, Summary, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research Development, Washington, DC, EPA 600/8-80-042E, PB 86-2230092. (July, 1980).

Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN. Not dated.

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978).

Warnick, S.L., Bell, H.L., "The Acute Toxicity of Some Heavy Metals to Different Species of Aquatic Insects", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 41, No. 2, Part 1. (February, 1969).

Water Quality Criteria Data Book: Organic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 1. (1970).

Water Quality Criteria Data Book - Vol. 3, Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (May, 1971).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 62nd Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1982).

Weis, P., Weis, J.S., "Methylmercury Inhibition of Fin Regeneration in Fishes and Its Interaction with Salinity and Cadmium", Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 6, p. 327. (1978).

Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, pp. 368, 434. (1955).

Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, IL. (1969).

Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M.N. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ. (1976).

World Health Organization, "Mercury", Environmental Health Criteria 1, Geneva. (1976).